

5075/RS/H/93.

## TUGAS AKHIR

### STUDI PUSTAKA

# PENCEMARAN PERAIRAN PANTAI OLEH MINYAK BUMI DALAM TINJAUAN EKOLOGI LAUT



PUS. LOKALISASI	
08 SEP 1993	
H.	
207 BA.	

RCG  
629.169 33  
1966  
S. 1  
1903

Disusun oleh :

ALI MASDUQI

NRP. 3883300155

PROGRAM STUDI TEKNIK PENYEHATAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

1993

**TUGAS AKHIR**  
**STUDI PUSTAKA**  
**PENCEMARAN PERAIRAN PANTAI**  
**OLEH MINYAK BUMI**  
**DALAM TINJAUAN EKOLOGI LAUT**



**Mengetahui / Menyetujui**  
**Dosen Pembimbing**



**IR. MOHAMMAD RAZIF**

**NIP. 130 936 830**

## ABSTRAK

Laut merupakan tempat terakhir terakumulasinya berbagai polutan. Polutan yang paling besar di laut adalah minyak bumi (petroleum hydrocarbon) yang berasal dari aktivitas industri perminyakan, kecelakaan kapal, dan pemakaian bahan bakar minyak. Untuk itu perlu dilakukan studi yang ditinjau dari aspek ekologi laut.

Hasil studi menunjukkan bahwa minyak bumi bersifat toksik terhadap semua jenis organisme laut. Fraksi minyak bumi yang membawa sifat toksik ini adalah hidrokarbon aromatik. Minyak dengan konsentrasi lebih dari 5 mg/l menurunkan tingkat fotosintesis fitoplankton sampai 50 % atau lebih. Hal ini berpengaruh pula pada organisme lain yang mengkonsumsi fitoplankton. Akumulasi hidrokarbon terjadi pada ikan, yaitu jaringan hati yang berkisar 1,1 - 4,8 µg/g. Pemakaian dispersan akan menambah tingkat toksik minyak (Zen, 1985) dengan LC-50 berkisar 3,5 - 10.000 mg/l.

Studi kasus di perairan Teluk Jakarta menunjukkan bahwa perairan Teluk Jakarta telah tercemar minyak bumi dengan konsentrasi berkisar 0,2 - 100 ppm. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang kualitas ikan yang ditangkap di perairan ini.

## KATA PENGANTAR

Tugas Akhir (LI 1703) merupakan mata kuliah yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Penyehatan FTSP - ITS sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan di ITS. Dengan penyusunan Tugas Akhir ini diharapkan seorang Sarjana Teknik Penyehatan mampu mengidentifikasi dan menganalisis masalah di bidang teknik penyehatan dan menulisnya dalam bentuk laporan, sehingga dapat diketahui oleh pembaca.

Dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda dan Ayahanda beserta keluarga tercinta.
2. Segenap pimpinan ITS dan FTSP beserta karyawan dan staf.
3. Bapak Ketua Program Studi Teknik Penyehatan, DR. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc.
4. Bapak Ir. Mohammad Razif, dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Segenap dosen dan karyawan Program Studi Teknik Penyehatan FTSP - ITS.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Penyehatan.

Akhirnya penulis menyampaikan puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan hidayah dan taufik-Nya kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga Tugas Akhir ini akan menjadi sumbangan pemikiran penulis kepada kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi serta menjadi amal yang bermanfaat bagi umat manusia.

Saran dan kritik untuk menyempurnakan isi Tugas Akhir ini akan diterima dengan senang hati.

Surabaya, Juli 1993

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak .....	ii
Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	v
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Gambar .....	x
 BAB I PENDAHULUAN .....	 I - 1
1.1. Latar Belakang .....	I - 1
1.2. Tujuan .....	I - 3
1.3. Ruang Lingkup Penulisan .....	I - 4
1.4. Metodologi Penulisan .....	I - 6
1.5. Sistematika Penulisan .....	I - 7
 BAB II GAMBARAN PERAIRAN LAUT .....	 II - 1
2.1. Sifat-Sifat Air Laut .....	II - 3
2.1.1. Temperatur Air Laut .....	II - 3
2.1.2. Densitas Air Laut .....	II - 8
2.1.3. Cahaya .....	II -11
2.1.4. Salinitas .....	II -12
2.1.5. Gas Terlarut .....	II -16
2.1.6. Pergerakan Air Laut .....	II -21
2.2. Biota Laut .....	II -27
2.2.1. Plankton .....	II -27

2.2.2. Nekton .....	II -36
2.3. Pembagian Zona Laut .....	II -39
2.3.1. Divisi Pelagik .....	II -39
2.3.2. Divisi Benthik .....	II -42
2.4. Pesisiran Pantai .....	II -43
2.5. Ekosistem Laut .....	II -47
2.5.1. Komponen Ekosistem .....	II -47
2.5.2. Keseimbangan Ekosistem .....	II -50
 BAB III KARAKTERISTIK MINYAK BUMI .....	 III - 1
3.1. Komposisi Minyak Bumi .....	III - 1
3.2. Produk Minyak Bumi .....	III -10
 BAB IV PENCEMARAN MINYAK BUMI DI PERAIRAN PANTAI ...	 IV - 1
4.1. Sumber Pencemaran .....	IV - 1
4.2. Penyebaran Pollutan .....	IV - 8
4.3. Pemantauan Pencemaran .....	IV -15
4.4. Pengaruh Pencemaran .....	IV -20
4.4.1. Pengaruh terhadap Biota Laut .....	IV -20
4.4.2. Pengaruh terhadap Ekosistem Laut .....	IV -28
4.4.3. Pengaruh terhadap Manusia .....	IV -32
4.5. Penanggulangan Pencemaran .....	IV -36
4.5.1. Pencegahan Pencemaran pada Sumbernya .	IV -36
4.5.2. Penanggulangan Tumpahan Minyak di Laut	IV -42

BAB V STUDI KASUS : PENCEMARAN MINYAK BUMI DI PERAIRAN

TELUK JAKARTA .....	V - 1
5.1. Latar Belakang .....	V - 1
5.2. Kondisi Perairan .....	V - 4
5.2.1. Kedalaman .....	V - 4
5.2.2. Arus dan Gelombang .....	V - 5
5.2.3. Temperatur .....	V - 7
5.2.4. Salinitas .....	V - 9
5.2.5. Oksigen Terlarut .....	V -11
5.2.6. Kandungan Nutrien .....	V -12
5.2.7. Kondisi Biologi .....	V -13
5.3. Potensi Sumber Pencemar .....	V -17
5.4. Pengaruh Pencemaran pada Sumber Hayati Laut ... .....	V -23
5.5. Alternatif Penanggulangan Pencemaran .....	V -27
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	VI - 1
6.1. Kesimpulan .....	VI - 1
6.2. Saran-saran .....	VI - 3
DAFTAR PUSTAKA .....	DP - 1
LAMPIRAN 1 : DAFTAR KATA .....	L - 1
LAMPIRAN 2 : BATASAN KONSENTRASI MINYAK TERHADAP ORGANISME LAUT .....	L - 4



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Kimia Air Laut .....	II -13
Tabel 2.2 Titik Beku Air Laut .....	II -15
Tabel 2.3 Kandungan Gas Terlarut di dalam Air Laut ..	II -17
Tabel 2.4 Produktivitas Fitoplankton Beberapa Daerah	II -32
Tabel 3.1 Senyawa Parafin di dalam Minyak Bumi .....	III - 4
Tabel 3.2 Beberapa Senyawa Naftena .....	III - 5
Tabel 3.3 Senyawa Hidrokarbon Aromatik .....	III - 7
Tabel 3.4 Senyawa Olefin di dalam Minyak Bumi .....	III - 8
Tabel 3.5 Komponen Beberapa Fraksi Minyak Bumi .....	III -13
Tabel 4.1 Beberapa Kecelakaan yang Menumpahkan Minyak ke Laut .....	IV - 4
Tabel 4.2 Baku Mutu Lingkungan Laut untuk Parameter Minyak Bumi .....	IV -19
Tabel 4.3 Tingkat Toleransi Organisme Laut terhadap Minyak .....	IV -23
Tabel 4.4 Distribusi Hidrokarbon dalam Jaringan Ikan	IV -27
Tabel 4.5 Produksi Perikanan Indonesia .....	IV -33
Tabel 4.6 Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Pengilangan Minyak .....	IV -41
Tabel 4.7 LC-50 Detergen terhadap Beberapa Spesies ..	IV -47
Tabel 5.1 Produksi Perikanan Laut di Tempat Pelelangan Ikan DKI Jakarta Tahun 1986 - 1987 .....	V - 4

Tabel 5.2 Jenis Ikan Laut yang Ditangkap di Perairan	
Teluk Jakarta Tahun 1986 - 1987 .....	V -16
Tabel 5.3 Konsentrasi Hidrokarbon di Perairan Teluk	
Jakarta .....	V -18
Tabel 5.4 MPN Hidrokarbono Klastik per 100 ml di	
Teluk Jakarta .....	V -18

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sebaran temperatur air laut permukaan pada bulan Februari .....	II - 4
Gambar 2.2 Profil temperatur di lautan dalam .....	II - 5
Gambar 2.3 Variasi densitas air laut terhadap (a) salinitas dan (b) temperatur .....	II - 9
Gambar 2.4 Profil densitas air laut .....	II -10
Gambar 2.5 Variasi intensitas cahaya terhadap kedalaman ... .....	II -12
Gambar 2.6 Hubungan salinitas ( $^{\circ}/\infty$ ) dan evaporasi - presipitasi pada berbagai garis lintang ..	II -15
Gambar 2.7 Profil salinitas untuk lautan terbuka ....	II -16
Gambar 2.8 Variasi kadar oksigen, nitrat, fosfat, dan pH terhadap kedalaman .....	II -19
Gambar 2.9 Bagian Gelombang .....	II -22
Gambar 2.10 Arus utama permukaan air laut .....	II -24
Gambar 2.11 Gerakan air laut ke atas ( <i>upwelling</i> ) ....	II -26
Gambar 2.12 Beberapa fitoplankton di laut .....	II -30
Gambar 2.13 Daur hidup kopepoda .....	II -35
Gambar 2.14 Pembagian lingkungan laut .....	II -42
Gambar 2.15 Jalur pemindahan energi dari matahari ...	II -49
Gambar 3.1 Diagram alir penyulingan minyak mentah ..	III -11
Gambar 4.1 Sumber pencemaran minyak bumi di laut ....	IV - 2

Gambar 4.2 Jalur perjalanan kapal dari Arab ke Jepang .....	IV - 5
Gambar 4.3 Bagan proses yang terjadi bila zat pencemar masuk ke ekosistem laut .....	IV - 9
Gambar 4.4 Penyebaran tumpahan minyak di laut .....	IV -13
Gambar 4.5 Diagram alir prosedur analisa hidrokarbon dalam sampel laut .....	IV -17
Gambar 4.6 Efek minyak terhadap fotosintesis fitoplankton .. .....	IV -21
Gambar 5.1 Daerah penangkapan sungai yang bermuara di Teluk Jakarta .....	V - 3
Gambar 5.2 Garis kedalaman di perairan Teluk Jakarta .	V - 5
Gambar 5.3 Sebaran temperatur permukaan di perairan Teluk Jakarta pada bulan Mei .....	V - 8
Gambar 5.4 Salinitas permukaan perairan Teluk Jakarta pada bulan Januari .....	V -11
Gambar 5.5 Fluktuasi kepadatan klorofil di Teluk Jakarta .. .....	V -14

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya berupa lautan dan terdapat sekitar 17.508 pulau besar dan kecil, dengan garis pantai yang panjangnya sekitar 81.000 km (Uktolseya, 1991). Oleh karena itu pemanfaatan dan pendayagunaan wilayah pesisir dan lautan mendapat perhatian yang cukup besar, seperti pertanian dan perikanan, pelayaran dan navigasi, rekayasa dan industri, pariwisata, serta pemukiman dan aspek kehidupan lainnya.

Pengelolaan dan pengembangan di bidang kelautan berkaitan erat dengan pengelolaan sumber daya alamnya yang mencakup berbagai aspek pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, mulai dari dasar laut sampai

ke permukaan laut, bahkan lapisan udara di atasnya yang langsung berinteraksi dengan lautan itu. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kelautan dimaksudkan untuk mendapatkan manfaat sebesar-besarnya dari sumber daya alam yang terkandung di laut. Eksploitasi sumber daya laut, seperti perikanan dan pertambangan akan menyebabkan terjadinya perubahan tatanan lingkungan, yaitu ketidakseimbangan antar komponen lingkungan dan penurunan mutu lingkungan yang berupa kerusakan fungsi lingkungan, apabila dalam pemanfaatan sumber daya alam itu tidak memperhatikan aspek kelestarian lingkungan. Kondisi inilah yang disebut dengan pencemaran lingkungan.

Pencemaran yang sering terjadi di laut adalah pencemaran oleh minyak bumi (*petroleum hydrocarbon*) yang berasal dari eksplorasi dan pengeboran minyak bumi di lautan, kecelakaan kapal tanker maupun kegiatan lalu lintas laut. Terjadinya pencemaran oleh minyak bumi di laut akan membawa dampak negatif terhadap manusia dan lingkungan. Misalnya pencemaran minyak bumi yang sering terjadi di Selat Malaka yang banyak merugikan nelayan Indonesia karena banyak ikan yang mati.

Pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi akan menurunkan fungsi pantai dan perairannya yang selama ini banyak dimanfaatkan untuk kegiatan pariwisata, pelabuhan,



MILIK PERPUSTAKAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH - NOPEMBER

perikanan, pemukiman dan sebagainya. Pencemaran ini juga menimbulkan berkurangnya populasi dan keragaman organisme akuatik yang banyak terdapat di perairan pantai yang dangkal karena hampir semua organisme akuatik sangat sensitif terhadap perubahan kondisi perairan.

Untuk memantau terjadinya pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi, pengaruhnya terhadap ekosistem laut dan usaha penanggulangan pencemaran lingkungan laut telah banyak dilakukan penelitian yang berkaitan dengan pencemaran oleh minyak bumi. Sedangkan studi pustaka ini diharapkan dapat memberikan informasi, uraian, dan analisis tentang pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi yang ditinjau dari aspek ekologi laut.

## 1.2. Tujuan

Tujuan studi pustaka ini adalah :

1. Menggali dan menelusuri berbagai literatur yang berkaitan dengan ekologi laut dan pencemaran laut, khususnya pencemaran oleh minyak bumi di perairan pantai.
2. Mempelajari hubungan timbal balik antara biota laut dengan lingkungannya, masalah pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi dan pengaruhnya pada biota laut.

3. Menganalisis masalah pencemaran laut oleh minyak bumi ditinjau dari aspek lingkungan dan ekologi laut.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Memberikan kontribusi terhadap pengumpulan dan pengelompokan literatur yang secara khusus membahas masalah pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi yang dikaitkan dengan masalah ekologi laut.
2. Memberikan alternatif pemecahan masalah terhadap kasus pencemaran perairan pantai yang disebabkan oleh minyak bumi.

### 1.3. Ruang Lingkup Penulisan

Tugas Akhir ini berjudul "Pencemaran Perairan Pantai oleh Minyak Bumi dalam Tinjauan Ekologi Laut". Batasan terhadap judul Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas



lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Undang-Undang Nomor 4 Tahun 1982). .

2. Perairan pantai adalah bagian dari perairan laut yang berbatasan dengan wilayah daratan, yang mempunyai kedalaman tidak lebih dari 100 sampai 200 meter dari muka air laut rata-rata.
3. Minyak bumi adalah bahan organik yang tersusun dari berbagai jenis hidrokarbon yang ditambang dari dalam bumi dalam bentuk cair yang digunakan sebagai bahan bakar.
4. Ekologi laut adalah disiplin ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme laut dengan komunitas dan lingkungan laut dan antar organisme laut itu sendiri.

Sedangkan lingkup penulisannya adalah :

1. Gambaran perairan laut yang mempunyai hubungan dengan pencemaran air laut.
2. Pencemaran disebabkan oleh minyak bumi yang terjadi di perairan pantai, baik minyak mentah maupun produk dari minyak bumi.
3. Penulisan tentang minyak bumi dalam kedudukannya sebagai bahan pollutan.
4. Pengaruh pollutan minyak bumi terhadap biota laut

dibatasi pada plankton dan ikan.

#### 1.4. Metodologi Penyusunan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, ada dua tahap pekerjaan pokok, yaitu :

##### 1.4.1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan menelusuri berbagai pustaka yang berkaitan dengan masalah oseanografi dan pencemaran oleh minyak bumi di laut. Dari hasil penelusuran pustaka ini, tulisan disusun kembali dengan bahasa penulis sendiri ataupun saduran langsung. Jenis kepustakaan yang dipelajari adalah :

- buku teks
- ensiklopedia
- jurnal
- bulletin
- laporan penelitian

##### 1.4.2. Studi Kasus

Studi kasus dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah tinjauan kasus pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi dengan referensi dari berbagai literatur yang telah dipelajari. Data mengenai kasus pencemaran oleh minyak bumi berupa data

sekunder yang diperoleh dari :

- majalah
- surat kabar
- laporan penelitian

Data yang didapatkan itu dianalisa yang ditinjau dari aspek ekologi laut dan diusahakan mencari alternatif pemecahannya.

### 1.5. Sistematika Penulisan

Susunan Tugas Akhir ini terdiri atas 6 bab, yaitu :

- Bab I : Pendahuluan

Bab ini menguraikan masalah yang melatarbelakangi penulisan Tugas Akhir, tujuan dan ruang lingkup penulisan serta langkah-langkah yang ditempuh dalam penyusunan Tugas Akhir.

- Bab II : Gambaran Perairan Laut

Pada bab ini diuraikan mengenai sifat-sifat air laut secara umum yang mungkin dapat mempengaruhi atau dipengaruhi oleh bahan-bahan pencemar air laut. Biota laut, pembagian zona laut, dan perairan pantai juga diuraikan pada bab ini. Selanjutnya diuraikan mengenai komponen-komponen ekosistem laut, pengertian dan penjelasan mengenai komunitas, populasi, habitat, dan rantai makanan. Uraian di sini dimaksudkan untuk

memberikan gambaran mengenai kondisi kehidupan perairan laut sebelum terjadinya pencemaran.

- Bab III : Karakteristik Minyak Bumi

Sifat-sifat fisik dan kimiawi dari minyak bumi dalam statusnya sebagai bahan pencemar diuraikan pada bab ini, baik minyak bumi yang berupa minyak mentah maupun produk-produk dari minyak bumi.

- Bab IV : Pencemaran Minyak Bumi pada Perairan Pantai

Pada bab ini dibahas mengenai sumber-sumber atau penyebab masuknya minyak bumi sebagai pollutan ke dalam perairan laut, khususnya di perairan pantai. Juga mengenai pemantauan pencemaran dan terjadinya penyebaran pollutan. Pengaruh pencemaran minyak dibahas pada bab ini, yaitu melihat pengaruhnya pada biota laut, ekosistem, dan pada manusia. Juga diuraikan mengenai usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi atau usaha untuk menanggulangi pencemaran yang telah terjadi di perairan pantai.

- Bab V : Studi Kasus

Pada bab ini disajikan mengenai kejadian pencemaran laut oleh minyak bumi. Kemudian dilakukan peninjauan dari segi ekologi laut, yaitu sejauh mana pencemaran oleh minyak bumi di laut atau perairan pantai itu mempengaruhi ekosistem di laut. Untuk studi kasus ini

mengambil lokasi di Perairan Teluk Jakarta

- Bab VI : Kesimpulan dan Saran

Dari uraian pada bab-bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan yang ditulis pada bab ini. Juga dilengkapi dengan saran-saran yang perlu disampaikan.

## BAB II

### GAMBARAN PERAIRAN LAUT

Permukaan bumi mempunyai luas 510 juta  $\text{km}^2$  yang terdiri atas 70,78 % (361 juta  $\text{km}^2$ ) berupa lautan dan 29,22 % (149 juta  $\text{km}^2$ ) berbentuk daratan (Neshyba, 1987). Perbandingan luas lautan dan daratan yang begitu besar menarik perhatian ilmuwan untuk mempelajari lautan dari berbagai aspeknya sebagaimana yang telah dilakukan oleh beberapa ekspedisi oseanografi internasional di lautan Asia Tenggara, antara lain *Challenger* (1872 - 1875), *Siboga* (1899 - 1900), *Snellius* (1928 - 1930), dan *Galathea* (1951).

Birowo (1991) mengemukakan beberapa manfaat yang diperoleh dari penelitian dan pengetahuan oseanografi dalam aktivitas di laut, yaitu :

- Bidang Perikanan

Ikan di laut selalu berusaha mendiami daerah-daerah

yang kondisinya baik dan sesuai dengan kebutuhan hidupnya. Kondisi ini sangat tergantung pada keadaan oseanografi dari perairan. Jadi apabila keadaan oseanografi perairan dan tingkah laku ikan diketahui, maka lokasi ikan sering dapat diramalkan.

- Bidang Pertambangan

Dalam eksplorasi maupun eksploitasi minyak, pengeboran haruslah setepat mungkin tempat di mana diduga terdapat sumber minyak. Ketepatan pengeboran banyak dipengaruhi oleh keadaan arus dari permukaan hingga dasar laut, dan keadaan gelombang internal, di samping sistem penentuan posisi di laut.

- Operasi Militer di Laut

Operasi militer di laut sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dengan kompleksnya operasi-operasi militer di laut sebagai akibat dari pemakaian alat-alat perang yang canggih, semakin tinggi pula keperluan akan informasi mengenai laut terutama aspek fisika laut.

- Penanggulangan pencemaran dan kerusakan lingkungan

Problem yang mungkin terjadi selama eksplorasi dan pemrosesan minyak di laut adalah bocornya pipa minyak yang dapat menyebabkan pencemaran laut. Tumpahan minyak dari kapal tanker yang pecah atau bocor akibat kandas atau tabrakan dapat dibayangkan bagaimana pengaruhnya

terhadap biota laut dan lingkungan perairan pantai. Pengetahuan tentang pola dan kekuatan arus, gelombang dan pasang-surut di perairan pantai akan sangat membantu dalam mengambil langkah-langkah penanggulangan dan pengendalian kerusakan pantai.

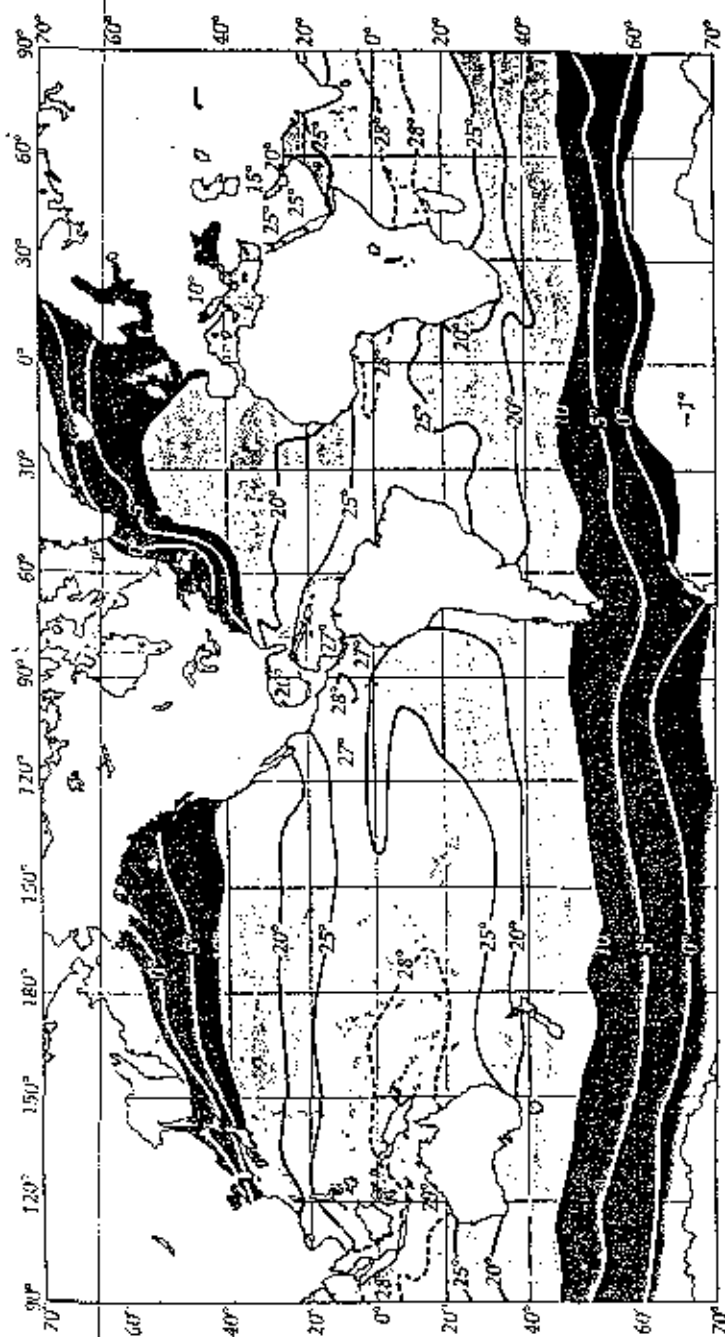
## 2.1. Sifat-Sifat Air Laut

### 2.1.1. Temperatur Air Laut

Temperatur merupakan parameter yang penting untuk mempelajari proses-proses fisika dan kimia di laut dan merupakan faktor penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Proses kehidupan organisme umumnya berlangsung dalam kisaran temperatur yang relatif sempit, yaitu antara  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $40^{\circ}\text{C}$  (Nybakken, 1988), meskipun ada juga organisme yang mampu bertahan di luar kisaran temperatur tersebut.

Temperatur air laut bervariasi terhadap tempat dan musim yang dipengaruhi oleh besarnya radiasi sinar matahari yang diterima oleh permukaan air laut. Laut di daerah garis lintang rendah (tropis) akan menerima radiasi sinar matahari yang berbeda besarnya dengan yang diterima oleh laut di garis lintang sedang (sub tropis) atau tinggi (daerah kutub). Akibatnya adalah terjadinya

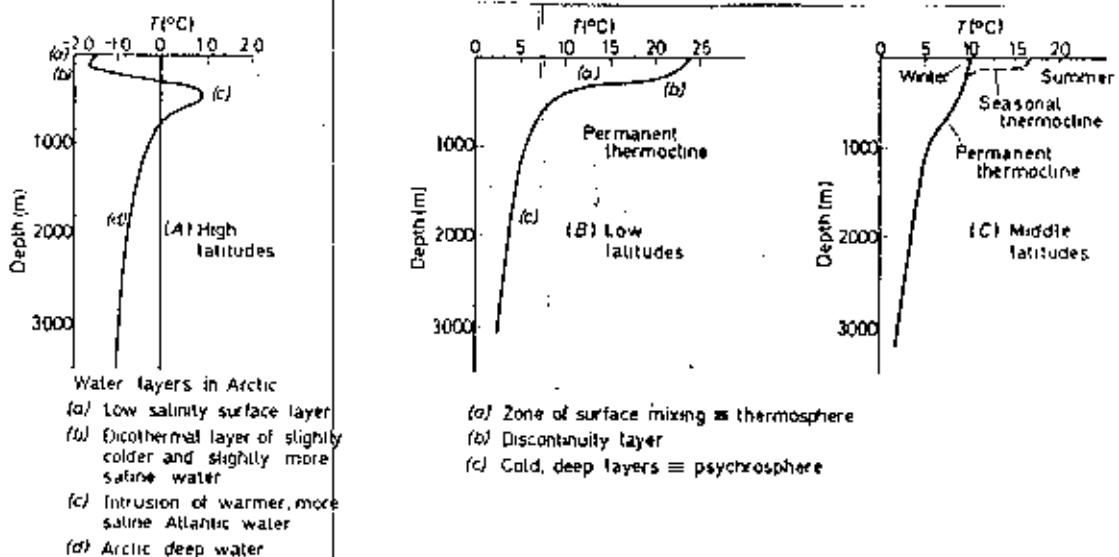




Gambar 2.1 Sebaran Temperatur Air Laut Permukaan pada Bulan Februari  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

perbedaan temperatur air laut pada setiap perbedaan garis lintang (gambar 2.1).

Air laut di permukaan menerima radiasi matahari yang berbeda dengan air laut di bawah permukaan. Makin besar kedalaman air laut besarnya penetrasi cahaya makin berkurang. Pada kedalaman 1 meter, penetrasi cahaya adalah 45 %, pada kedalaman 10 meter adalah 16 % dan pada kedalaman 100 meter penetrasinya hanya 10 % dari radiasi cahaya yang diterima permukaan (Neshyba, 1987). Karena perbedaan penetrasi cahaya ini, maka terjadi stratifikasi temperatur secara vertikal (gambar 2.2).



Gambar 2.2 Profil Temperatur di Lautan Dalam  
(Tait, 1985)

Ingmanson dan Wallace (1985) membagi laut menurut temperaturnya menjadi tiga lapisan, yaitu *mixed layer* (lapisan teraduk), *main thermocline*, dan *deep layer* (lapisan dalam). Lapisan teraduk merupakan lapisan di permukaan sampai kedalaman tertentu dengan temperatur yang hampir sama karena adanya pengaruh angin yang menyebabkan terjadinya pengadukan. Di bawah lapisan ini terjadi penurunan temperatur yang sangat tajam. Lapisan di mana terjadi penurunan temperatur yang tajam ini disebut *termoklin*. Sedangkan lapisan dalam terletak di bawah lapisan termoklin dengan temperatur makin turun sesuai kedalaman, tetapi penurunannya jauh lebih lambat.

Pada laut di garis lintang tinggi (kutub), temperatur air di permukaan laut dan di lapisan dalam adalah kecil. Pada kedalaman kurang dari 1000 meter gradien temperatur sering tidak teratur karena terjadi pengenceran di permukaan oleh presipitasi atau pencairan es. Air di bawah permukaan mempunyai temperatur yang lebih besar dari pada air di permukaan dan di lapisan dalam (gambar 2.2A).

Pada garis lintang rendah (tropis), absorpsi panas di permukaan laut menghasilkan lapisan permukaan yang cerah dan hangat dengan temperatur lebih dari 20°C. Penurunan temperatur secara tajam terjadi pada kedalaman 100 sampai 500 meter yang disebut *termoklin permanen*.

yaitu semacam lapisan yang memisahkan antara air bertemperatur tinggi di permukaan dan temperatur rendah di lapisan dalam. Di bawah lapisan termoklin, makin ke dalam temperatur air menurun dengan lambat sampai ke dasar laut (gambar 2.2B).

Pada garis lintang sedang (sub tropis), temperatur air laut di permukaan dipengaruhi oleh musim, sedangkan temperatur di lapisan dalam tetap (tidak dipengaruhi musim). Adanya pengaruh musim terhadap temperatur air di permukaan laut menyebabkan adanya termoklin musiman, yaitu termoklin yang hanya terjadi pada musim panas. Termoklin musiman terjadi pada kedalaman 15 sampai 40 meter. Pada musim panas, air di permukaan laut hangat dan di lapisan dalam tetap dingin, sehingga ada suatu lapisan termoklin yang memisahkan dua massa air yang berbeda temperaturnya ini. Pada musim dingin, kondisi ini tidak terjadi karena temperatur air di permukaan laut menjadi dingin dan perbedaannya dengan temperatur air di lapisan dalam tidak terlalu besar, sehingga termoklin yang terjadi hanya kecil dan bersifat permanen, yaitu pada kedalaman 500 sampai 1500 meter.

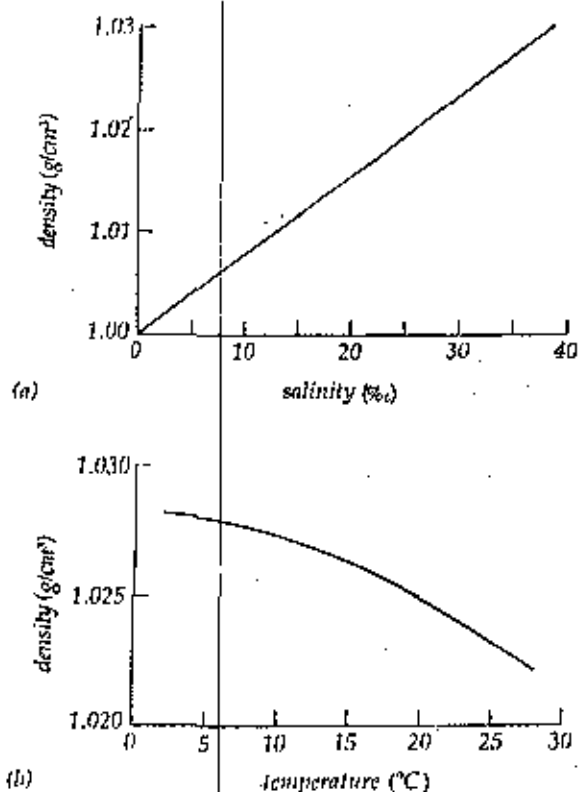
Variasi temperatur terhadap musim juga dipengaruhi oleh besarnya radiasi sinar matahari yang diterima air laut. Variasi ini hanya terjadi pada lapisan permukaan, sedangkan lapisan di bawahnya relatif tetap karena

radiasi cahaya hampir tidak dapat menembus sampai di lapisan dalam.

Pada bulan Oktober - Maret belahan bumi bagian selatan menerima sinar matahari lebih banyak dari pada belahan bumi bagian utara, sedangkan pada bulan April - September terjadi sebaliknya. Kondisi demikian menimbulkan adanya variasi temperatur musiman. Di daerah khatulistiwa variasi temperatur musiman kurang dari  $5^{\circ}\text{C}$  dan di daerah lintang  $30^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  dapat mencapai  $10^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan di daerah kutub, yaitu di Lautan Arktika dan Antarktika hampir sepanjang tahun tertutup oleh es dengan temperatur sekitar  $0^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.1.2. Densitas Air Laut

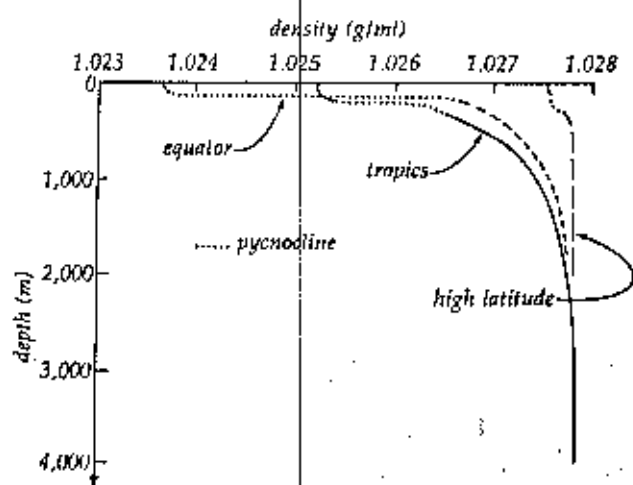
Densitas didefinisikan sebagai massa per satuan volume yang dinyatakan dengan satuan gr/ml. Air murni mempunyai densitas 1,0 gr/ml pada  $4^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 101,3 kPa (1 atm). Untuk air laut, densitasnya lebih besar daripada air murni, yaitu antara 1,02 dan 1,03 gr/ml, karena banyak bahan terlarut di dalamnya. Densitas air laut selain dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan - sebagaimana air murni - juga dipengaruhi oleh salinitas (Ingmanson dan Wallace, 1985). Hubungan antara densitas dengan temperatur dan salinitas dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Variasi densitas air laut terhadap  
(a) Salinitas dan  
(b) Temperatur pada tekanan 1 atm  
(Ingmanson dan Wallace, 1985)

Variasi densitas air laut terhadap kedalaman berkaitan erat dengan temperatur. Makin rendah temperatur air laut, densitasnya makin meningkat (gambar 2.3b). Bila hubungan kedua sifat air ini dikaitkan lagi dengan variasi temperatur air laut terhadap kedalaman (gambar 2.2), maka diperoleh hubungan antara densitas air laut dengan kedalaman laut (gambar 2.4). Pada kedalaman

100 sampai 500 meter, terjadinya termoklin menyebabkan meningkatnya densitas air laut dengan sangat tajam yang disebut *pycnocline*, yaitu suatu lapisan yang memisahkan antara air yang densitasnya kecil di permukaan air laut dan densitas tinggi di lapisan dalam.



Gambar 2.4 Profil densitas air laut  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

Densitas penting artinya dalam mempelajari arus air laut karena dengan adanya perbedaan densitas akan terjadi gerakan air laut. Air yang densitasnya lebih besar cenderung bergerak menuju tempat yang lebih rendah, sedangkan yang densitasnya lebih kecil bergerak naik ke permukaan.

### 2.1.3. Cahaya

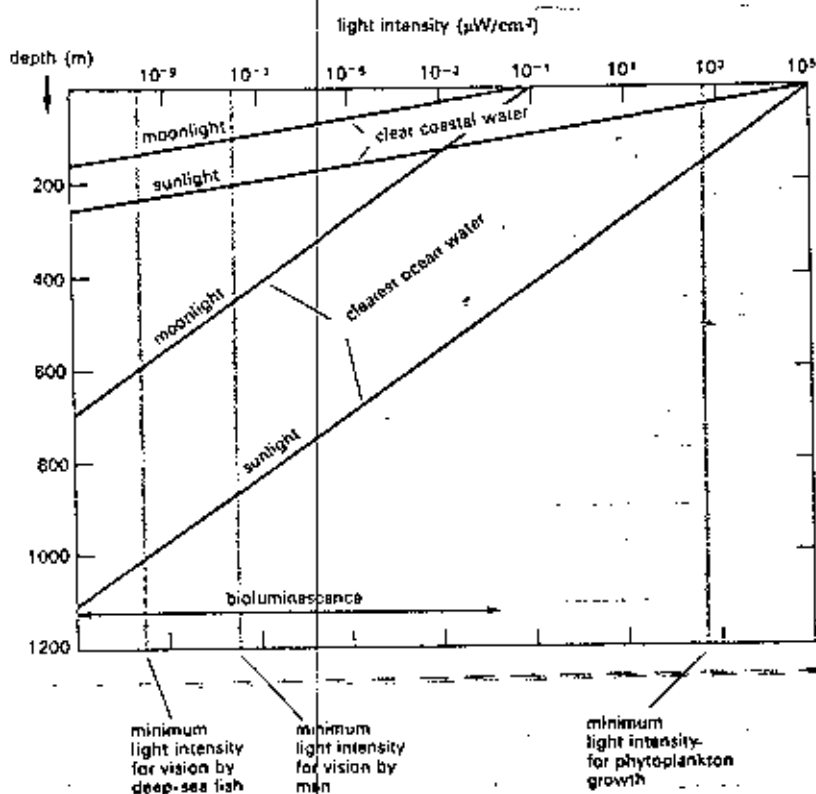
Keberadaan cahaya di air laut sangat dibutuhkan oleh fitoplankton untuk proses fotosintesis, yaitu proses pembentukan zat organik (karbohidrat) dari karbon dioksida dan air dengan bantuan energi dari cahaya matahari.

Cahaya matahari yang diterima permukaan air laut sebagian akan diteruskan ke bagian dalam air laut dengan intensitas yang makin menurun. Cahaya yang dapat menembus permukaan air laut ini akan mengalami penurunan intensitas lebih lanjut melalui dua proses yang berlangsung di dalam air. Yang pertama adalah pemantulan oleh berbagai partikel hidup dan mati yang tersuspensi di dalam air. Partikel ini menerima cahaya kemudian mengabsorpsinya atau memantulkannya kembali ke permukaan. Kedua, absorpsi cahaya oleh air laut. Kedua proses ini dapat mengurangi suplai cahaya bagi proses fotosintesis.

Pada kedalaman tertentu, penurunan intensitas cahaya mencapai nilai di mana kebutuhan cahaya untuk fitoplankton berfotosintesis tidak terpenuhi, yaitu tinggal 1 % dari intensitas cahaya di permukaan atau sekitar  $10^3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Zona di mana kebutuhan cahaya untuk fotosintesis masih dapat terpenuhi disebut *euphotic zone*. Ketebalan *euphotic zone* tergantung pada beberapa faktor, antara lain besarnya intensitas cahaya yang diterima



permukaan air laut dan kekeruhan air laut. Umumnya kedalaman *euphotic zone* ini tidak lebih dari 200 meter. Pada laut yang jernih seperti Laut Mediterranean dan Laut Karibia kedalaman *euphotic zone* mencapai 100 sampai 180 meter. Pada perairan pantai yang dangkal, *euphotic zone* dapat mencapai dasar perairan, tetapi karena perairan pantai umumnya lebih keruh, maka penurunan intensitas cahaya menjadi lebih besar dari pada penurunan intensitas cahaya di laut bebas (gambar 2.5).



Gambar 2.5 Variasi intensitas cahaya terhadap kedalaman (Meadows & Campbell, 1988)

#### 2.1.4. Salinitas

Salah satu parameter penting dalam mempelajari air laut adalah salinitas, yaitu besarnya (gram) kandungan zat-zat terlarut dalam 1 kg air laut dan umumnya dinyatakan dalam satuan ‰ (bagian per seribu). Zat-zat terlarut itu meliputi garam-garam anorganik, senyawa-senyawa organik yang berasal dari organisme hidup dan gas-gas terlarut. Fraksi terbesar dari bahan terlarut terdiri atas garam-garam anorganik yang berwujud ion-ion (tabel 2.1).

Komposisi kimia ini pada berbagai tempat akan bervariasi, tetapi perbandingan masing-masing ion relatif konstan, sehingga untuk menghitung salinitas air laut dapat ditentukan dengan hanya mengukur satu parameter, yaitu chlorinitas atau kadar chlor (Hutabarat dan Evans, 1985). Secara empiris, perhitungan salinitas diperoleh dengan formula sebagai berikut :

$$\text{Salinitas (‰)} = 1,805 \times \text{chlorinitas (‰)} + 0,030$$

Salinitas pada berbagai tempat di lautan terbuka bervariasi antara 34 sampai 37 ‰ dengan rata-rata 35 ‰. Perbedaan salinitas terjadi karena perbedaan dalam evaporasi dan presipitasi (gambar 2.6). Evaporasi yang lebih besar dari pada presipitasi menghasilkan salinitas yang lebih besar dan bila presipitasinya lebih besar, maka salinitas air lautnya akan turun.

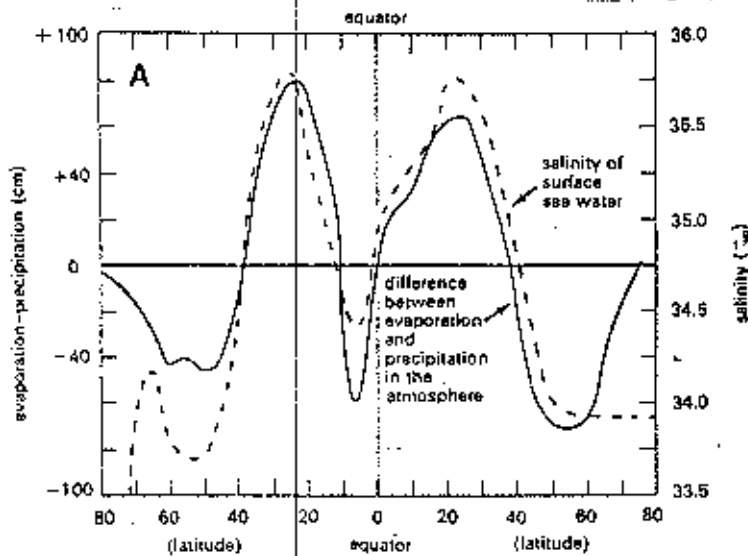
Tabel 2.1 Komposisi Kimia Air Laut  
(Ingmanson dan Wallace, 1985)

Zat	‰	% berat garam
Chlorida ( $\text{Cl}^-$ )	18,980	55,04
Sodium ( $\text{Na}^+$ )	10,556	30,61
Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	2,649	7,68
Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	1,272	3,69
Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	0,400	1,16
Potassium ( $\text{K}^+$ )	0,380	1,10
Bicarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )	0,140	0,41
Bromida ( $\text{Br}^-$ )	0,065	0,19
Asam Borat ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	0,026	0,07
Strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ )	0,013	0,04
Fluorida ( $\text{F}^-$ )	0,001	0,00
Total	34,482 ‰	99,99 %

Secara vertikal, salinitas bervariasi terhadap kedalaman. Makin besar kedalaman laut, salinitasnya turun sampai mencapai minimum pada kedalaman 800 sampai 1000 meter. Setelah itu salinitas akan naik lagi sampai pada kedalaman 2000 meter (gambar 2.7).

Kandungan garam mempunyai pengaruh pada sifat-sifat air laut. Kerapatan maksimum air murni terjadi pada temperatur  $4^\circ\text{C}$ , tetapi kerapatan air laut terus meningkat sampai titik beku. Titik beku air laut

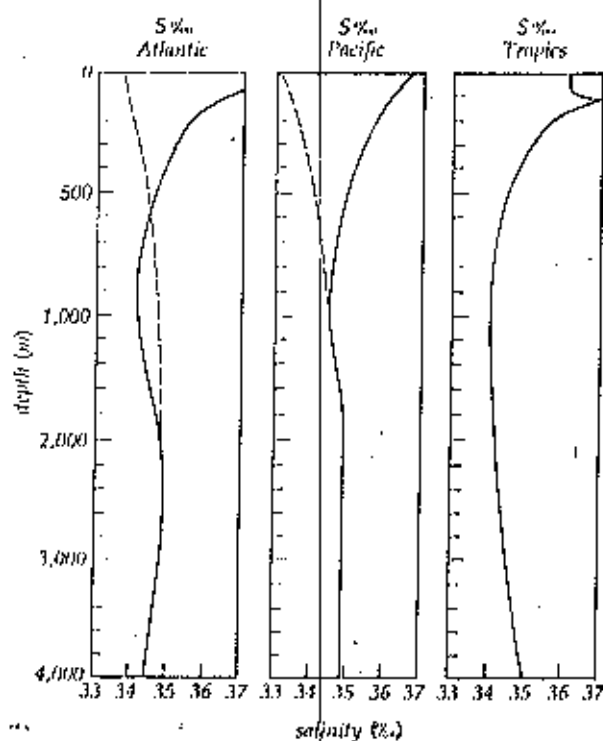
menjadi lebih rendah dari  $0^{\circ}\text{C}$  karena air mengandung garam. Penurunan titik beku ini merupakan fungsi salinitas (tabel 2.2).



Gambar 2.6 Hubungan salinitas ( $^{\circ}/\infty$ ) dan evaporasi - presipitasi pada berbagai garis lintang (Meadows & Campbell, 1988)

Tabel 2.2 Titik Beku Air Laut  
(Ingmanson dan Wallace, 1985)

Salinitas ( $^{\circ}/\infty$ )	Titik beku ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	0
10	-0,53
20	-1,08
30	-1,63
35	-1,91



Gambar 2.7 Profil salinitas untuk lautan terbuka  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

#### 2.1.5. Gas Terlarut

Di dalam air laut terdapat beberapa gas yang terlarut (tabel 2.3). Dua macam gas yang terlarut di dalam air laut yang mempunyai arti penting dalam metabolisme adalah oksigen dan karbon dioksida. Kelarutan gas di dalam air laut merupakan fungsi temperatur, yaitu makin rendah temperatur makin besar kelarutannya. Pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ , air laut yang mempunyai salinitas  $35\text{‰}$

Tabel 2.3 Kandungan Gas Terlarut di dalam Air Laut  
(Hutabarat dan Evans, 1985)

Jenis gas	Konsentrasi di dalam air laut (ml/l air)
Nitrogen	13
Oksigen	2 - 8
Argon	0,32
Karbon dioksida	50
Neon	$1,8 \times 10^{-4}$
Helium	$5,0 \times 10^{-5}$
Kripton	$6,0 \times 10^{-5}$
Xenon	$7,0 \times 10^{-6}$

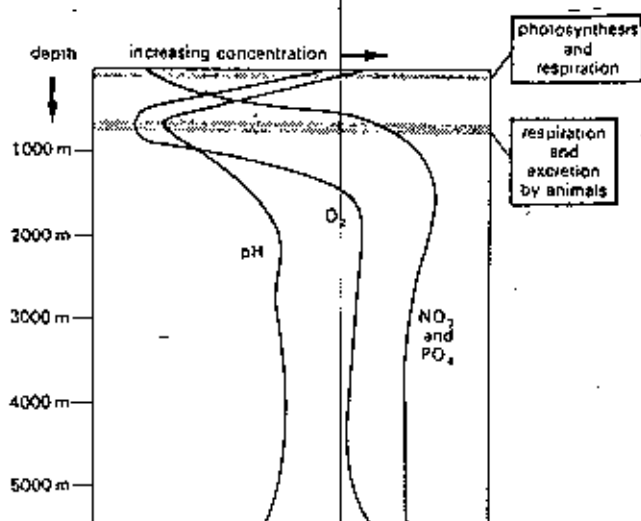
mengandung kurang lebih 8 ml/l  $O_2$  dan kandungan udara 21 ml/l, sedangkan pada temperatur  $20^\circ C$  kandungan  $O_2$  adalah 5,4 ml/l (Nybakken, 1988).

Kelarutan oksigen di laut sangat penting artinya dalam mempengaruhi keseimbangan kimia di air laut dan dalam kehidupan organisme di laut. Faktor yang menentukan konsentrasi oksigen di laut antara lain proses fotosintesis oleh tumbuhan air, pertukaran dengan atmosfer di permukaan laut, gerakan massa air dan proses kimia. Proses pertukaran oksigen antara udara dan air laut dipengaruhi oleh difusi, pergantian air yang ada di

permukaan dan oleh gelembung-gelembung udara yang terjadi pada saat turbulensi. Proses larutnya oksigen dari udara ke laut dipengaruhi oleh sifat-sifat fisika gas di udara dan di dalam air laut. Gas dengan tekanan partial lebih besar akan bergerak ke media dengan tekanan partial lebih kecil (Birowo, 1991).

Kegiatan biologis tidak menyebabkan air laut bagian dalam bersifat anoksik (tidak mengandung oksigen) karena ketika air tenggelam dari permukaan, air sangat dingin dan mengandung oksigen yang maksimum, lebih banyak dari yang dikonsumsi oleh populasi binatang laut-dalam yang terbatas jumlahnya. Penyebaran oksigen di dalam lautan bervariasi menurut kedalaman. Satu penampang vertikal tertentu dari kandungan oksigen memperlihatkan jumlah oksigen maksimum terdapat pada permukaan air sampai kedalaman 10 - 20 meter di mana kegiatan fotosintesis dan difusi oksigen dari atmosfer sering mengakibatkan lewat jenuh. Dengan bertambahnya kedalaman, kandungan oksigen menurun. Penurunan ini mencapai kadar oksigen minimum pada kedalaman sekitar 500 - 1000 meter di perairan lautan terbuka. Di bawah daerah ini, kandungan oksigen akan meningkat kembali dengan bertambahnya kedalaman, dan kandungan oksigen hampir seragam sampai dasar laut (gambar 2.8).





Gambar 2.8 Variasi kadar oksigen, nitrat, fosfat, dan pH terhadap kedalaman (Meadows & Campbell, 1988)

Kelarutan karbon dioksida agak berbeda dengan oksigen, karena gas ini bereaksi secara kimia di dalam air. Karbon dioksida melimpah dalam air laut karena kapasitas air laut untuk menyerap gas ini cukup besar. Hal ini terjadi karena karbon dioksida ketika masuk ke air laut, bereaksi dengan air dan menghasilkan asam karbonat.



Asam karbonat selanjutnya terdisosiasi menjadi ion hidrogen dan ion bikarbonat :





Kemudian ion bikarbonat terdisosiasi lagi menjadi ion hidrogen dan ion karbonat :



Sistem karbon dioksida - asam karbonat - ion bikarbonat merupakan suatu sistem kimia yang kompleks yang cenderung berada dalam keseimbangan. Oleh karena itu jika karbon dioksida dikeluarkan dari air laut, keseimbangan itu akan terganggu dan asam karbonat serta ion bikarbonat akan bergerak ke kiri dalam persamaan di atas sampai lebih banyak lagi dihasilkan karbon dioksida sehingga tercapai keseimbangan lagi.

Sebagai akibat reaksi di atas ialah terjadi produksi ion hidrogen bebas ( $\text{H}^+$ ) yang merupakan suatu tolok ukur keasaman. Tingkat keasaman air laut bervariasi antara pH 7,5 sampai 8,4. Sistem karbon dioksida - asam karbonat - ion bikarbonat berfungsi sebagai *buffer* yang dapat mempertahankan pH air laut dalam suatu kisaran yang sempit. Sistem tersebut dapat menjalankan peranannya dengan menyerap ion  $\text{H}^+$  di dalam air jika ion ini berlebihan dan akan menghasilkan lebih banyak ion  $\text{H}^+$  jika jumlah ion ini menyusut.

Kelarutan  $\text{CO}_2$  dalam air laut sangat tergantung pada temperatur air laut. Kenaikan temperatur akan menyebabkan kadar  $\text{CO}_2$  semakin rendah (Susana, 1988).

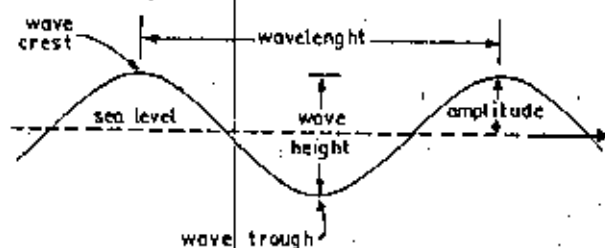
### 2.1.6. Pergerakan Air Laut

Air laut dapat dibagi menjadi beberapa massa air, yaitu massa air permukaan yang meliputi semua air yang terdapat di atas daerah termoklin, sedangkan daerah di bawah termoklin terdapat massa air dalam yang meluas sampai ke dasar lautan. Massa air permukaan selalu dalam keadaan bergerak yang ditimbulkan oleh kekuatan angin yang bertiup melintasi permukaan air laut dan akan menghasilkan dua macam gerakan, yaitu gelombang dan arus.

#### 2.1.6.1. Gelombang

Gelombang mempunyai ukuran yang bervariasi, mulai dari riak dengan ketinggian beberapa sentimeter sampai pada gelombang angin badai yang dapat mencapai ketinggian 30 meter. Selain ketinggian, gelombang juga diidentifikasi dengan panjang gelombang, yang merupakan jarak horisontal antara puncak dua gelombang yang berurutan (gambar 2.9). Sedangkan periode suatu gelombang adalah waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang yang berurutan untuk mencapai titik yang sama. Selain oleh angin, gelombang juga dapat disebabkan oleh gempa bumi, letusan vulkanik dan tanah longsor bawah air yang menimbulkan gelombang besar yang merusak yang disebut *Tsunami*, serta oleh gaya tarik bumi dan bulan

yang menghasilkan gelombang tetap dan dikenal sebagai pasang-surut.



Gambar 2.9 Bagian Gelombang  
(Inghanson & Wallace, 1985)

Dilihat dari perbandingan antara panjang gelombang dengan kedalaman perairan, gelombang perairan dapat dibedakan antara gelombang perairan dangkal dan gelombang perairan dalam. Kedalaman suatu perairan mempengaruhi bentuk, tinggi dan periode gelombang. Pembagian ini didasarkan pada nilai  $d/l$  atau kedalaman per panjang gelombang. Jika dalam perhitungan  $d/l > 0,5$ , maka daerah tersebut digolongkan pada laut dalam dan jika  $d/l < 0,04$ , maka digolongkan sebagai laut dangkal (Uktolseya, 1991). Gelombang yang merambat pada perairan dangkal disebut gelombang perairan dangkal (shallow water wave) atau gelombang panjang. Kecepatannya dipengaruhi oleh kedalaman perairan :

$$V = \sqrt{g \cdot d}$$

Gelombang yang merambat pada perairan dalam disebut

gelombang perairan dalam (deep water wave) atau gelombang pendek. Kecepatannya tidak tergantung pada kedalaman, tetapi pada frekuensi :

$$V = \sqrt{\frac{g}{k}}$$

Untuk gelombang pendek ini, Ingmanson dan Wallace (1985) merumuskan bahwa kecepatannya tergantung pada panjang gelombang :

$$V = \sqrt{\frac{g L}{2 \pi}}$$

di mana :

$g$  = percepatan gravitasi, m/detik<sup>2</sup>

$d$  = kedalaman, m

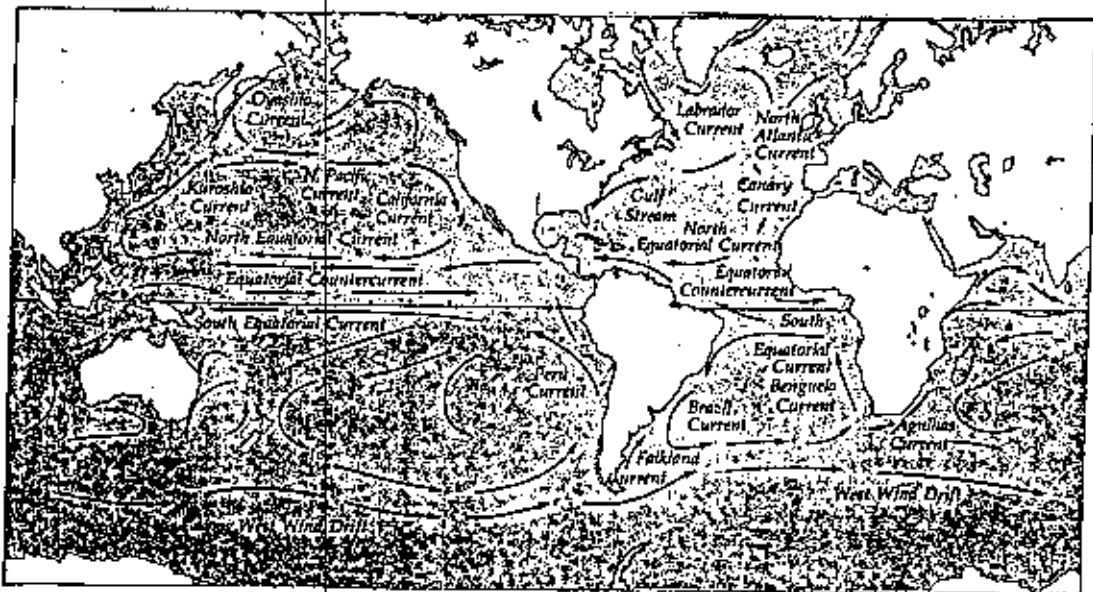
$L$  = panjang gelombang, m

$k$  = frekuensi, detik<sup>-1</sup>

#### 2.1.6.2. Arus Laut

Arus adalah gerakan air yang mengakibatkan perpindahan horisontal massa air. Sistem arus laut utama dihasilkan oleh beberapa daerah angin utama yang berbeda satu sama lain mengikuti garis lintang sekeliling dunia dan di masing-masing daerah ini angin secara terus-menerus bertiup. Angin ini mendorong bergernaknya air permukaan, menghasilkan gerakan arus horisontal yang

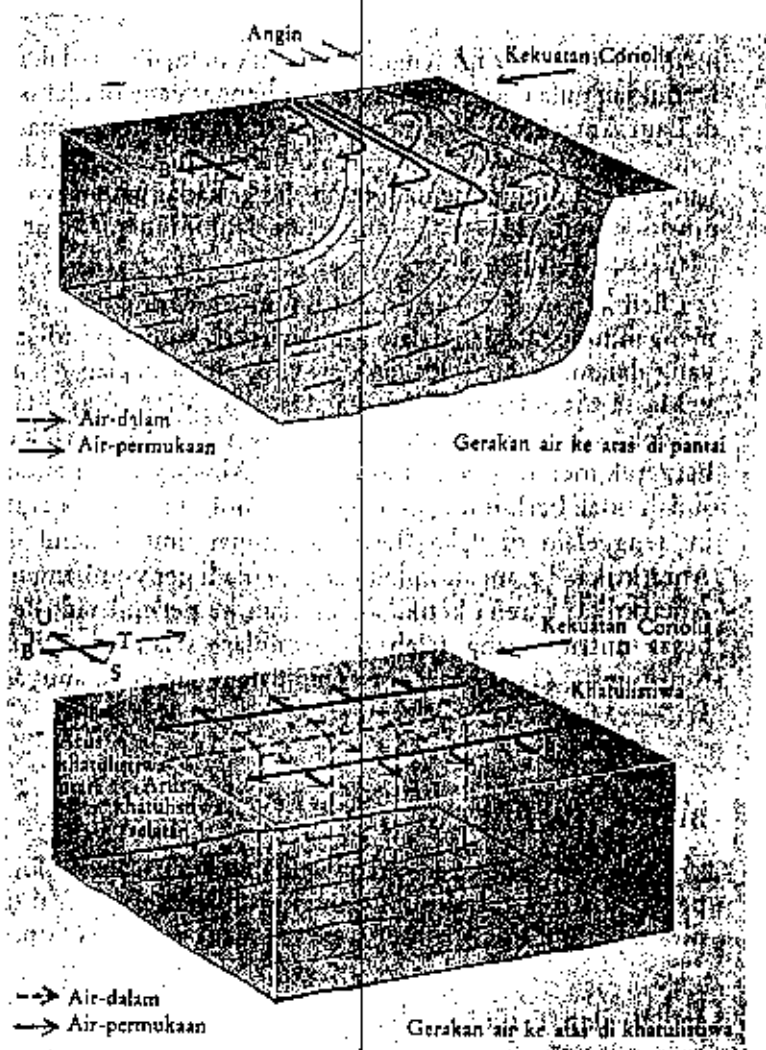
lamban dan mampu mengangkut suatu volume air yang sangat besar melintasi jarak jauh di lautan (gambar 2.10). Arus air di permukaan laut banyak dipengaruhi oleh angin monsoon (angin musim), sehingga pola sirkulasi menjalani perubahan yang sejalan dengan pola angin. Pada musim barat, arus permukaan bergerak dengan arah utama dari barat ke timur, dan pada musim timur pola sirkulasi yang terjadi adalah sebaliknya.



Gambar 2.10 Arus Utama Permukaan Air Laut  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

Di daerah dan keadaan tertentu, gerakan lateral air yang disebabkan oleh angin juga mengakibatkan air mengalami sirkulasi vertikal atau gerakan ke atas (*upwelling*). Proses *upwelling* adalah suatu proses di mana massa air didorong ke arah atas dari kedalaman sekitar 100 sampai 200 meter yang terjadi di sepanjang pantai barat di banyak daratan. Angin di sepanjang pantai mendorong aliran arus air menelusuri sepanjang tepi daratan ke arah khatulistiwa. Pada saat yang bersamaan, gaya Coriolis - yaitu gaya yang disebabkan oleh rotasi bumi mengelilingi sumbunya - mendorong aliran permukaan ini ke tengah menjauhi pantai. Aliran lapisan permukaan air yang menjauhi pantai mengakibatkan massa air yang berasal dari lapisan dalam akan naik menggantikan kekosongan tempat ini (gambar 2.11). Massa air yang berasal dari lapisan dalam ini belum berhubungan dengan atmosfer dan karena itu mengandung oksigen yang rendah. Akan tetapi air ini kaya akan nutrien seperti nitrat dan fosfat yang dibawa dari lapisan dalam air laut (Meadows & Campbell, 1988), sehingga banyak terdapat fitoplankton. Karena fitoplankton merupakan dasar dari rantai makanan di lautan, maka daerah *upwelling* merupakan suatu tempat yang subur bagi populasi ikan (Hutabarat & Evans, 1985).

Gerakan massa air dalam sangat berbeda dengan massa air permukaan. Massa air dalam terisolasi dari angin,



Gambar 2.11 Gerakan air laut ke atas (*upwelling*)  
(Nybakken, 1988)

sehingga gerakannya tidak tergantung pada angin, tetapi terjadi karena adanya gerakan air di permukaan dan perubahan densitas air. Densitas air laut dapat

berubah-ubah sesuai dengan berubahnya salinitas atau temperatur. Meningkatnya salinitas atau menurunnya temperatur air akan berakibat pada naiknya densitas air. Air yang densitasnya lebih besar akan bergerak ke bagian bawah dan sebaliknya.

Di kebanyakan perairan pantai terjadi arus pantai yang dipengaruhi angin lokal, pasang-surut, topografi dasar laut dan perairan pantai, adanya aliran dari sungai (estuari), dan keadaan geografis setempat.

## 2.2. Biota Laut

### 2.2.1. Plankton

Plankton adalah istilah umum yang digunakan untuk menyebut kelompok organisme pelagik yang hanyut bebas di laut dan daya renangnya sangat lemah. Gerakan plankton dalam air laut sangat dipengaruhi oleh gerakan air laut, yaitu arus dan gelombang.

Plankton dibagi menjadi dua golongan besar, yaitu tumbuhan (fitoplankton) dan hewan (zooplankton). Plankton dapat dikelompokkan lagi berdasarkan ukuran, habitat, komponen, daur hidup dan gerakan plankton. Berdasarkan ukurannya, Nybakken (1988) mengelompokkan plankton menjadi :

- *Megaplankton*, yaitu organisme planktonik yang berukuran lebih besar dari 2,0 mm.



- *Macroplankton*, yaitu organisme planktonik yang mempunyai ukuran 0,2 - 2,0 mm.
- *Microplankton*, plankton yang berukuran antara 20  $\mu$ m dan 0,2 mm.
- *Nanoplankton*, yaitu organisme planktonik yang sangat kecil dengan ukuran 2 - 20  $\mu$ m.
- *Ultraplankton*, berukuran paling kecil, yaitu kurang dari 2  $\mu$ m.

Selanjutnya plankton dikelompokkan menurut daur hidupnya sebagai berikut :

- *Holoplankton*, yaitu plankton yang seluruh daur hidupnya bersifat planktonik, disebut juga *permanent plankton*.
- *Meroplankton* atau *temporary plankton*, yaitu organisme akuatik yang hanya sebagian dari daur hidupnya bersifat planktonik, seperti telur dan larva ikan.

Berikutnya adalah pengelompokan plankton berdasarkan habitat, komposisi, dan pergerakan plankton (Tait, 1985) sebagai berikut :

- *Euplankton* : Plankton yang hidup di zona epipelagik, yaitu pada kedalaman kurang dari 200 meter.
- *Pelagial* : Organisme yang hidup melayang secara pasif pada *interface* antara udara dan air

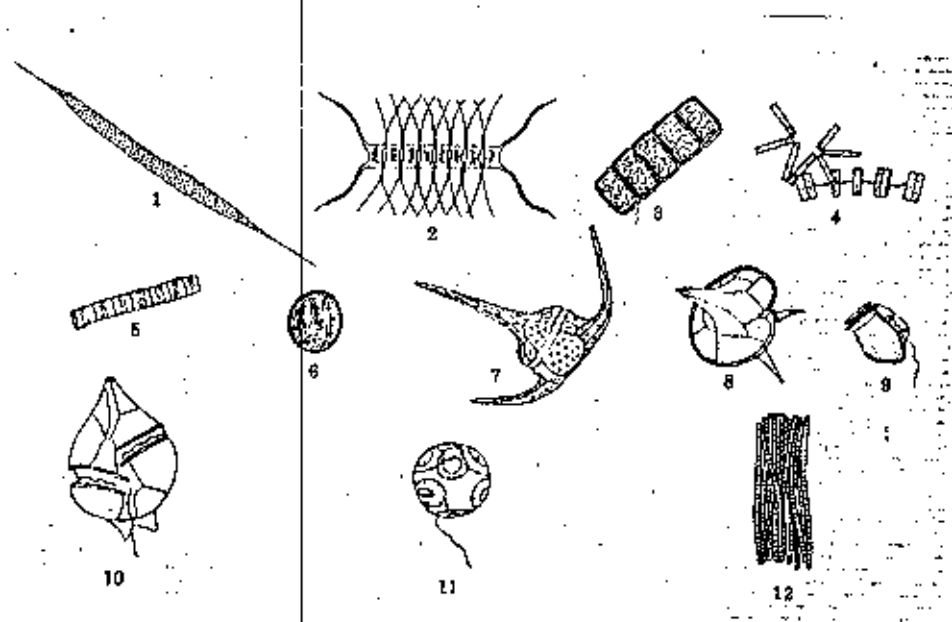
laut, sehingga ada bagian yang terpapar udara dan bergerak karena angin.

- *Neuston* : Organisme planktonik kecil yang berenang dan mendiami permukaan air.
- *Bathyp plankton* : Plankton yang hidup di laut dalam.
- *Hypoplankton* : Plankton yang hidup di dekat dasar laut.
- *Protoplankton* : Bakteri pelagik, tumbuhan dan hewan uniseluler.
- *Seston* : Partikulat halus yang tersuspensi di dalam air.
- *Micronekton* : Hewan berukuran sedang (macro-plankton) yang dapat berenang.
- *Tychopelagic* : Organisme bentik yang naik dari dasar karena terbawa oleh air.

#### 2.2.1.1. Fitoplankton

Fitoplankton merupakan dasar dari kehidupan seluruh organisme di laut karena fitoplankton adalah produsen primer yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi bahan organik yang merupakan makanan bagi konsumen (organisme lainnya). Ordo fitoplankton yang paling dominan di laut adalah Diatom (Bacillariophyceae) dan Dinoflagellata (Dinophyceae).

Kebanyakan diatom adalah uniseluler, berukuran antara 15 sampai 40  $\mu\text{m}$ . Diatom hidup dalam suatu kotak gelas yang unik dan tidak memiliki alat-alat gerak. Kotak terdiri atas dua bagian yang dinamakan katup. kotak terbuat dari silikon dioksida, berhiaskan lubang-lubang besar-kecil dengan pola-pola yang khas menurut spesies diatom.



Gambar 2.12 Beberapa fitoplankton di laut :

Diatom : 1. *Rhizosolenia*, 2. *Chaetoceros*,  
3. *Navicula*, 4. *Thalassiosira*, 5. *Skeletonema*,  
6. *Coscinodiscus*; Dinoflagellata : 7. *Cetarium*,  
8. *Peridinium*, 9. *Dinophysis*, 10. *Gonyaulax*;  
Kokolitofoer : 11. *Coccolithus*; Alga hijau-biru:  
12. *Trichodesmium*

(Nybakken, 1988)

Pada proses reproduksi, tiap diatom membelah dirinya menjadi dua. Satu belahan diatom menempati katup bagian atas (*epiteka*) dan belahan lainnya menempati katup bawah (*hipoteka*). Selanjutnya setiap belahan akan membentuk katup atas atau katup bawah yang baru, sehingga terbentuk diatom yang baru sesuai dengan spesiesnya.

Ordo kedua dari fitoplankton di laut adalah dinoflagellata yang ditandai dengan adanya sepasang flagella yang digunakan untuk bergerak dalam air. Pada umumnya dinoflagellata mempunyai ukuran kecil, hidup tunggal, dan jarang membentuk rantai. Perkembangbiakannya dengan cara pembelahan. Dinoflagellata mampu menghasilkan bermacam-macam racun yang dilepaskan ke dalam air laut. Bila dinoflagellata sangat melimpah (2 - 8 juta sel/liter), zat racun yang dilepaskan ini akan dapat mempengaruhi organisme-organisme lainnya di lautan dan dapat mengakibatkan kematian massal. Jumlah dinoflagellata yang ekstrim ini dikenal dengan istilah *red tide* (pasang merah) yang merupakan penyebab kematian ikan dan avertebrata dalam jumlah yang sangat besar di lokasi di mana pasang merah berlangsung.

Anggota fitoplankton lainnya yang merupakan minoritas adalah berbagai alga biru (*Cyanophyceae*), kokolitofor (*Coccolithophoridae*, *Haptophyceae*) dan silikoflagellata (*Dictyochaceae*, *Chrysophyceae*).

Cyanophyceae lautan hanya terdapat di lautan tropis dan seringkali membentuk filamen yang padat dan dapat mewarnai air. Alga hijau-biru mirip sekali dengan bakteri yang tidak memiliki inti sel formal dan tidak terdapat pigmen untuk fotosintesis. Kokolitifor sangat kecil, sekitar 5  $\mu\text{m}$  dengan ciri khas adanya lempeng-lempeng yang terbuat dari kalsium karbonat yang melekat pada lapisan terluarnya. Silikoflagellata adalah organisme fitoplanktonik yang kecil dan monoseluler dengan suatu kerangka terbuat dari silikon dioksida.

Fitoplankton sebagai produsen primer menghasilkan produksi primer berupa senyawa organik, yang dinyatakan dalam jumlah gram karbon (C) yang terikat per satuan luas per interval waktu ( $\text{gr C/m}^2/\text{tahun}$ ). Laju pembentukan senyawa organik disebut produktivitas primer.

Tabel 2.4 Produktivitas Fitoplankton Beberapa Daerah  
(Raymont, 1966 dalam Nybakken, 1988)

Lokasi	Produksi ( $\text{gr C/m}^2/\text{tahun}$ )
Selat Long Island (pantai iklim sedang)	380
Paparan benua	100 - 160
Lautan tropis	18 - 50
Lautan iklim sedang	17 - 120
Lautan Antarktika	100
Lautan Arktika	<1

Produktivitas fitoplankton di lautan bervariasi secara geografis (tabel 2.4). Pada perairan pantai, produktivitasnya akan berbeda dibandingkan dengan perairan lepas pantai. Di perairan tropis, produktivitas perairan pantai mencapai sepuluh kali produktivitas perairan lepas pantai. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor berikut :

- Perairan pantai menerima sejumlah besar unsur-unsur P dan N dalam bentuk  $PO_4$  dan  $NO_3$  melalui *run-off* dari daratan, sehingga perairan pantai tidak kekurangan zat hara.
- Perairan pantai mempunyai kedalaman yang dangkal, sehingga fitoplankton selalu mendapat cahaya yang cukup untuk fotosintesis.
- Termoklin permanen tidak terjadi di perairan pantai, sehingga tidak ada zat hara yang terperangkap di dasar perairan.

Produksi dalam perairan pantai juga ditingkatkan oleh sumbangan yang berasal dari flora bentik, suatu komponen yang tidak terdapat dalam perairan lepas pantai.

#### 2.2.1.2. Zooplankton

Zooplankton adalah hewan planktonik yang merupakan konsumen tingkat pertama yang mendapat energi dari

fitoplankton. Keragaman zooplankton dalam air laut sangat banyak, namun yang paling dominan adalah dari klas copepoda yang berjumlah sekitar 70 % dari total zooplankton. Copepoda sangat penting artinya bagi ekosistem laut yang berperan sebagai salah satu mata rantai dari rantai makanan.

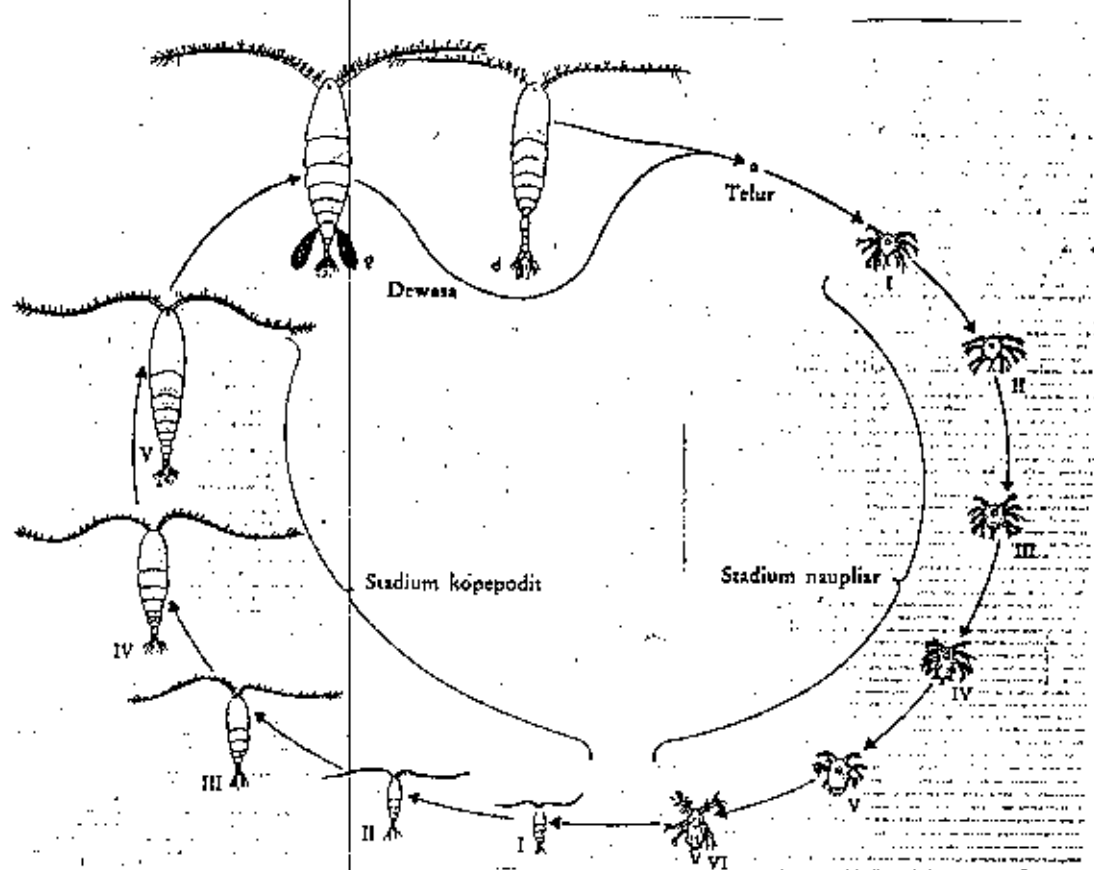
Pada umumnya copepoda yang hidup bebas berukuran kecil, panjangnya antara satu sampai beberapa milimeter. Gerakan renangnya lemah, menggunakan kaki-kaki torakal, dengan ciri khas gerakan kaki yang tersentak-sentak. Kedua antenanya yang paling besar berguna untu menghambat laju tenggelamnya. Copepoda makan fitoplankton dengan cara menyaringnya melalui rambut-rambut halus yang tumbuh di apendiks tertentu yang mengelilingi mulut, atau dengan langsung menangkap fitoplankton dengan apendiksnya.

Semua copepoda mempunyai pola perkembangan yang sama. Telur copepoda menetas menghasilkan larva yang dinamakan *nauplius*. Terdapat enam stadium naupliar yang beruntun. Setelah stadium naupliar yang keenam, nauplius berubah menjadi suatu bentuk larva yang dinamakan *copepodit*. Setelah mengalami lima stadium sebagai copepodit barulah copepoda menjadi individu dewasa (gambar 2.13).

Daur hidup copepoda di daerah tropis berlangsung sepanjang tahun karena kondisi lingkungan konstan dan

pertumbuhan fitoplankton berlangsung terus menerus, sehingga copepoda dapat berkembang dengan cepat dan dapat menghasilkan banyak generasi dalam satu tahun.

Copepoda dan zooplankton pada umumnya, merupakan organisme yang mengatur kepadatan populasi fitoplankton. Zooplankton mampu menurunkan populasi fitoplankton dalam jumlah yang cukup besar. Hal ini terutama terjadi di daerah sub tropis, di mana zooplankton dan fitoplankton



Gambar 2.13 Daur hidup copepoda  
(Nybakken, 1988)



tergantung pada musim, artinya populasi zooplankton dan fitoplankton meningkat pada musim tertentu.

Zooplankton selalu melakukan gerakan yang disebut *migrasi vertikal*, yaitu migrasi harian yang dilakukan oleh organisme zooplankton tertentu ke arah dasar laut pada siang hari dan ke arah permukaan laut pada malam hari. Penyebab migrasi vertikal diduga akibat rangsangan cahaya. Bila intensitas cahaya di permukaan laut meningkat, maka zooplankton bergerak ke arah dasar laut dan bila intensitas cahaya di permukaan laut menurun, maka zooplankton bergerak ke arah permukaan laut.

#### 2.2.2. Nekton

Nekton adalah organisme aquatik yang mempunyai kemampuan bergerak sehingga tidak tergantung pada arus laut yang kuat atau gerakan air yang disebabkan oleh angin. Nekton didominasi oleh hewan-hewan vertebrata dan ikan merupakan jumlah terbanyak, baik dalam spesies maupun individu.

Beberapa kelompok ikan yang berbeda dijumpai dalam golongan nekton. Pertama, ikan yang menghabiskan seluruh waktunya di daerah epipelagik. Ikan ini disebut *holoepipelagik* mencakup ikan-ikan hiu tertentu, kebanyakan ikan terbang, tuna, setuhuk, cucut gergaji, lemuru, dan lain-lain. Ikan ini biasanya menghasilkan

telur yang mengapung dan larva epipelagik. Jumlahnya sangat berlimpah di permukaan perairan tropis dan sub tropis.

Kelompok kedua dari ikan laut dinamakan *meroeipelagik*. Ikan ini hanya menghabiskan sebagian dari hidupnya di daerah epipelagik. Kelompok ini lebih beragam dan mencakup ikan yang menghabiskan masa dewasanya di epipelagik, tetapi memijah di perairan pantai atau perairan tawar. Ada juga ikan yang memasuki daerah epipelagik pada waktu-waktu tertentu, seperti ikan-ikan perairan dalam yang bermigrasi ke permukaan laut pada malam hari.

Komponen terbesar kedua dari nekton adalah mamalia laut. Mamalia laut nektonik mencakup ikan paus (ordo Cetacea), anjing laut, dan singa laut (ordo Pinnipedia). Terdapat juga mamalia bahari lain, seperti *manatee* dan duyung (ordo Sirenia), serta berang-berang (ordo Carnivora).

Hampir semua ikan di daerah intertidal (pasang-surut) berukuran kecil karena keadaan lingkungan yang bergolak. Bentuk tubuh biasanya pipih dan memanjang atau gepeng yang memungkinkan mereka tinggal di lubang, saluran, celah, atau lekukan untuk berlindung dari kekeringan dan gerakan ombak. Banyak dari ikan ini yang beradaptasi untuk menahan kisaran salinitas dan

temperatur yang besar dibandingkan dengan familinya yang berada di daerah subtidal.

Pola daur hidup dari beberapa spesies yang diamati umumnya sama. Telur-telurnya diletakkan pada batu, karang atau tumbuhan yang tenggelam. Telur menetas setelah beberapa minggu menjadi larva planktonik. Periode plankton bervariasi, lamanya tergantung pada spesiesnya. Selama periode ini, secara bertahap larva membentuk ciri-ciri ikan dewasa dan akhirnya menjadi bentik. Beberapa ikan intertidal mengadakan migrasi, bergerak mengikuti pasang-surut harian atau musiman.

Pada ikan-ikan di kawasan epipelagik, tidak ada mekanisme khusus yang akan memisahkannya dari sesama jenisnya yang bentik atau yang hidup di perairan dangkal. Tetapi ikan-ikan bertulang keras holonektonik seperti tuna dan marlin memijahkan telur yang terapung dan mengalami perkembangan di laut terbuka. Karena telur bersifat planktonik, maka banyak yang hilang akibat pemangsaan.

Pada dasarnya semua nekton dewasa adalah carnivora yang memangsa plankton atau nekton lainnya yang lebih kecil. Jadi sejumlah besar nekton merupakan predator bagi nekton lainnya.

### 2.3. Pembagian Zona Laut

Untuk mempelajari perairan laut, pembagian zona lingkungan laut mempunyai arti penting karena masing-masing zona mempunyai kondisi lingkungan dan biota yang spesifik.

Lingkungan laut dikelompokkan menjadi dua bagian besar (*division*), yaitu *pelagik* dan *bentik*.

#### **2.3.1. Divisi Pelagik**

Pelagik merupakan seluruh kawasan perairan laut yang terlepas dari dasar laut, dan organisme pelagik berarti organisme yang hidupnya melayang di perairan (bersifat planktonik) maupun yang berenang (bersifat nektonik). Secara horisontal, kawasan pelagik ini dibagi menjadi dua sub bagian (*province*), yaitu :

1. Neritik : merupakan kawasan perairan laut yang dangkal di tepi daratan yang mempunyai kedalaman kurang dari 200 meter atau kawasan perairan yang terletak di atas *continental shelf* (paparan benua). Perairan di kawasan ini dapat dianggap sebagai perairan pantai yang kondisi lingkungannya banyak dipengaruhi dari daratan.
2. Oseanik : merupakan kawasan perairan laut bebas yang dalam dan jauh dari daratan atau disebut

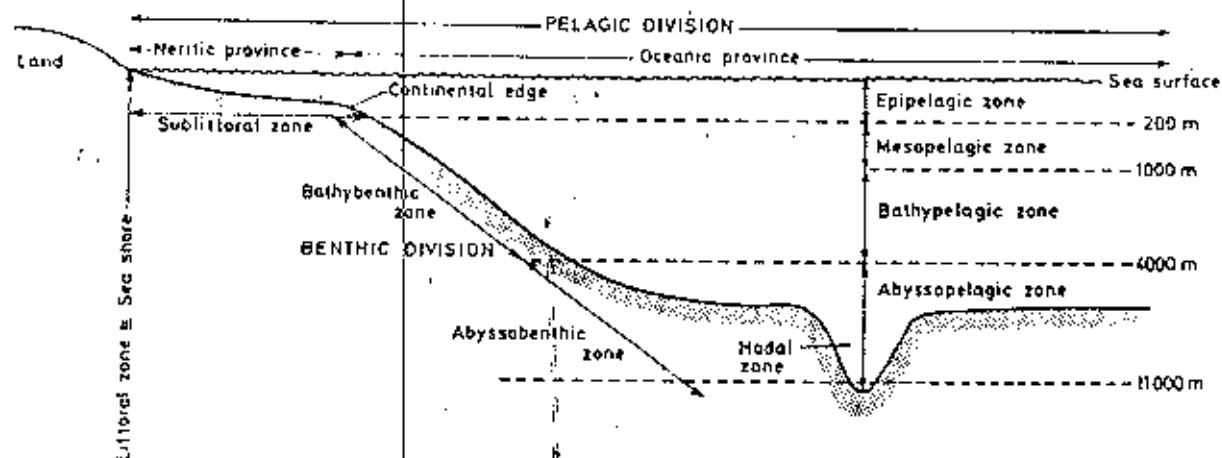
perairan lepas pantai. Kondisi lingkungannya tidak banyak dipengaruhi dari daratan.

Secara vertikal, kawasan pelagik dibagi menjadi beberapa zona, yaitu :

1. Epipelagik, yaitu zona lautan di permukaan air laut sampai pada kedalaman 100 sampai 200 meter, di mana cahaya matahari masih dapat menembusnya, sehingga disebut *zona fotik*. Kondisi lingkungan di zona ini berubah-ubah secara musiman, temperatur airnya berkisar di antara temperatur air di permukaan dan di lapisan dalam. Termoklin umumnya terjadi pada zona ini dan gerakan air berjalan relatif cepat. Di zona epipelagik, fitoplankton berfotosintesis dengan memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi dan menghasilkan makanan bagi biota lainnya. Fitoplankton yang paling banyak di zona ini adalah diatom dan dinoflagellata. Biota yang hidup di zona ini sangat banyak dan beragam, yaitu beberapa spesies dari biota nektonik seperti ikan cumi-cumi, tuna, ikan slem, berang-berang, dan sebagainya. Sedangkan biota kelompok planktonik yang hidup di zona ini adalah kopepoda dalam jumlah yang besar mencapai 70 - 90 % dari seluruh zooplankton di zona ini.

2. Mesopelagik, yaitu zona lautan pada kedalaman 200 sampai 1000 meter. Terjadinya penetrasi cahaya sangat kecil, kadar oksigen minimum, konsentrasi fosfat dan nitrat maksimum dan temperatur air adalah  $10^{\circ}\text{C}$ . Biota yang terdapat di zona ini tidak begitu banyak karena kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.
3. Batipelagik, yaitu zona lautan di bawah mesopelagik dengan kedalaman 1000 sampai 4000 meter. Air di zona ini mempunyai temperatur 4 sampai  $10^{\circ}\text{C}$ , tekanan tinggi (21 - 401 atm), dan dalam keadaan gelap karena cahaya tidak dapat menembusnya.
4. Abisopelagik, yaitu zona lautan di bawah batipelagik pada kedalaman 4000 meter sampai ke dasar laut. Keadaan zona ini sangat gelap, dingin (temperatur di bawah  $4^{\circ}\text{C}$ ), tekanan sangat besar (401 - 601 atm). Karena makanan di sini sangat sedikit, maka biota yang hidup di zona ini juga terbatas jumlahnya.
5. Hadopelagik, yaitu kawasan perairan di atas palung laut. Kedalamannya antara 6000 sampai 11500 meter. Temperatur air sangat dingin dengan tekanan 601 - 1151 atm, dan sangat gelap.

Berdasarkan kemampuan cahaya matahari menembus air laut, maka zona epipelagik disebut zona fotik, dan zona lainnya yang tidak terdapat cahaya dinamakan zona afotik.



Gambar 2.14 Pembagian Lingkungan Laut  
(Tait, 1985)

### 2.3.2. Divisi Benthik

Benthik merupakan istilah yang dipergunakan untuk menyatakan kawasan dasar lautan, sedangkan organisme yang hidup di dasar lautan disebut bentos. Kawasan benthik dibagi menjadi :

1. Litoral, yaitu zona benthik di daerah pasang-surut. (disebut juga zona intertidal). Pada saat air laut pasang, dasar laut di zona ini tertutup oleh air laut, tetapi pada saat air surut, dasar laut terbuka dan langsung kontak dengan udara. Bentos yang hidup di zona litoral adalah biota yang mempunyai toleransi yang besar terhadap perubahan salinitas dan temperatur.

2. Sub litoral, yaitu kawasan bentik pada perairan dangkal (di daerah *continental shelf*). Jumlah dan keragaman spesies bentos sangat banyak, terutama terdiri dari filum Annelida, Crustacea, Mollusca, dan Echinodermata.
3. Batibentik, merupakan dasar laut dari *continental slope* (kemiringan rata-rata 70 m/km). Jumlah bentos yang hidup di zona ini tidak sebanyak jumlah bentos di perairan dangkal.
4. Abisobentik, yaitu dasar lautan yang sangat dalam dan datar, tempat terakumulasinya sedimen dari kawasan pelagik.
5. Hadobentik, yaitu dasar dari palung laut.

#### 2.4. Perairan Pantai

Perairan pantai adalah bagian dari perairan laut yang terletak di antara daratan dan lautan, yaitu pada zona *neritic*, sedangkan zona bentiknya adalah zona litoral (intertidal) dan sub litoral. Kedalaman perairan pantai berkisar dari 0 meter, yaitu dimulai dari garis pantai sampai kedalaman maksimum mencapai 200 meter.

Perairan pantai dipengaruhi oleh pasang-surut air laut, yaitu naik turunnya permukaan air laut yang terjadi karena interaksi antara gaya gravitasi matahari dan bulan terhadap bumi serta gaya sentrifugal yang ditimbulkan



oleh rotasi bumi. Akibat gaya-gaya ini, air di laut tertarik ke atas pada saat permukaan laut menghadap matahari dan/atau bulan.

Adanya pasang-surut ini menyebabkan batas daratan-perairan tidak tetap. Pada saat pasang, permukaan air laut naik sehingga batas daratan-perairan bergerak ke arah daratan. Sebaliknya pada saat surut, permukaan air laut turun sehingga terdapat bagian dasar perairan yang terbuka. Jarak horisontal antara batas daratan-perairan pada saat pasang dan pada saat surut tergantung pada kemiringan dasar perairan. Pada pantai dengan paparan yang landai, jarak horisontal antara batas daratan-perairan pada saat air pasang dan pada saat air surut besar sekali, sedangkan di daerah yang paparannya curam batas itu saling berdekatan.

Gerakan ombak mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap organisme dan komunitas di daerah intertidal. Aktivitas ombak mempengaruhi kehidupan pantai secara langsung dengan pengaruh mekaniknya menghancurkan dan menghanyutkan benda yang terkena. Sering terjadi penghancuran bangunan-bangunan yang disebabkan oleh gelombang badai besar yang terjadi di daerah intertidal. Oleh karena itu organisme yang hidup di daerah ini harus dapat beradaptasi dengan kekuatan yang besar. Ombak yang besar akan menjadi pembatas bagi organisme yang tidak

dapat menahan terpaan tersebut.

Pada perairan dangkal, interaksi ombak, arus, dan *upwelling* menimbulkan turbulensi. Turbulensi ini secara umum mencegah perairan pantai terstratifikasi secara termal. Temperatur di perairan pantai mempunyai kisaran lebih besar dari pada temperatur di daerah laut terbuka pada garis lintang yang sama. Besarnya kisaran temperatur ini banyak dipengaruhi oleh keadaan temperatur di daratan. Sifat daratan adalah cepat menjadi panas bila menerima sinar matahari dan cepat menjadi dingin bila tidak terkena sinar matahari.

Penetrasi cahaya pada perairan pantai lebih kecil dibandingkan dengan daerah laut terbuka (gambar 2.5). Faktor yang mempengaruhi kecilnya penetrasi cahaya antara lain besarnya turbulensi karena pecahan gelombang, banyaknya partikel dari daratan, rumput laut, dan kepadatan plankton yang tinggi sebagai akibat banyaknya nutrien, sehingga air tampak lebih keruh. Penetrasi cahaya di perairan pantai yang keruh hanya mencapai kedalaman 10 sampai 30 meter, bahkan kurang dari 3 meter di daerah estuari.

Pada perairan pantai yang dangkal, cahaya dapat menembus sampai ke dasar. Pada kedalaman lebih dari 40 atau 50 meter jarang terdapat cukup cahaya untuk vegetasi, akan tetapi di tempat-tempat yang dangkal

seringkali terdapat hewan dan tumbuhan laut hidup dengan subur. Di dasar dari perairan ini, macam kehidupan bergantung kepada sifat fisik dasar itu seperti adanya pasir, batuan atau lumpur. Dasar yang berpasir biasanya terdapat di tempat yang gelombangnya menghanyutkan bagian-bagian yang lebih kecil. Pada tempat yang tidak stabil demikian biasanya tidak terdapat tumbuhan. Akan tetapi terdapat berbagai hewan menggali lubang di pasir, terutama Crustaceae, Mollusca, dan Annelida. Juga terdapat ikan pipih yang membenamkan sebagian atau seluruh tubuhnya di dalam pasir. Pada dasar yang berlumpur lebih banyak lagi hewan yang hidup dan menggali lubang di sini. Kebanyakan spesies hewan yang hidup di dasar yang berlumpur tidak menyerupai hewan yang telah biasa dengan kehidupan di pasir. Pada dasar yang berbatu, gelombang biasanya sangat besar dan banyak terdapat hewan, seperti teritip dan kepah yang hidup melekat pada suatu tempat. Hewan yang tidak mempunyai cangkang bersembunyi di sudut-sudut dan celah-celah batuan.

Perairan pantai mempunyai salinitas yang rendah karena pengaruh aliran air tawar dari daratan. Pada musim hujan, dari daratan banyak sekali air tawar mengalir ke perairan pantai yang menyebabkan salinitas air laut turun, sedangkan pada musim kemarau, pengaruh ini berkurang.

Perubahan salinitas di daerah intertidal dapat mempengaruhi kehidupan organisme. Pada saat air surut, zona intertidal ini terbuka dan kemudian menerima aliran air tawar dari daratan atau hujan lebat, akibatnya salinitas akan sangat turun. Bila penurunan salinitas ini melewati batas toleransi organisme terhadap perubahan salinitas, maka organisme ini dapat mati. Oleh karena itu hanya organisme yang mempunyai batas toleransi yang besar terhadap perubahan salinitas yang mampu hidup di daerah ini.

## 2.5. Ekosistem Laut

### 2.5.1. Komponen Ekosistem

Untuk mempelajari ekosistem di laut, perlu dijelaskan mengenai pengertian individu, populasi, komunitas dan ekosistem.

*Individu* adalah organisme satu per satu yang tidak dapat dibagi lagi menjadi kelompok-kelompok makhluk hidup yang lebih kecil. Individu ini dapat mengelompok dalam suatu lingkungan tertentu dan melakukan berbagai aktivitasnya. Sekelompok individu yang sejenis ini disebut *populasi*. Selanjutnya beberapa populasi dari spesies yang berlainan dan cenderung hidup bersama di dalam berbagai daerah geografis membentuk suatu

komunitas. Suatu komunitas atau serangkaian komunitas beserta lingkungan fisik dan kimia di sekelilingnya yang secara bersama-sama berfungsi sebagai sistem ekologi dinamakan *ekosistem* (Sastrodinoto, 1985; Ewusie, 1990).

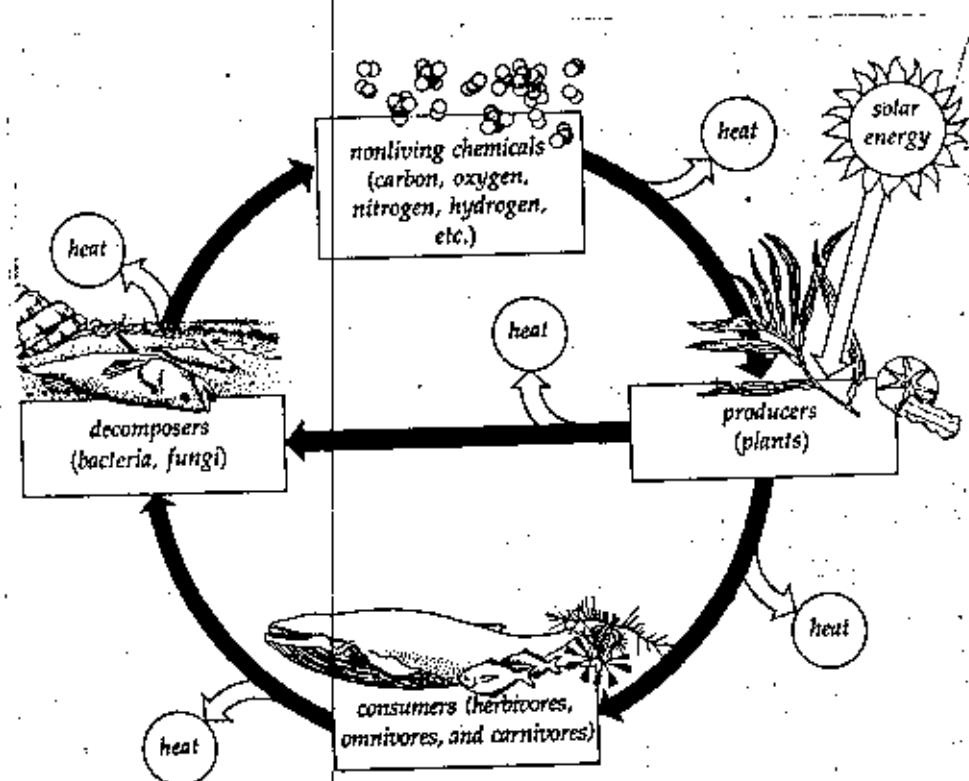
Ekosistem merupakan satu kesatuan ekologi yang paling kompleks dan saling mempengaruhi. Sistem ini begitu besar dan kompleks sehingga untuk mempelajarinya cenderung dengan memperhatikan pada bagian-bagian komponennya.

Secara umum, komponen ekosistem dibagi menjadi komponen biotik dan abiotik yang saling berinteraksi. Komponen biotik dari ekosistem laut yaitu :

- komponen ototrofik
- komponen heterotrofik
- komponen dekomposer

Bagian-bagian komponen dan sistem secara keseluruhan berfungsi berdasarkan suatu kegiatan yang menyangkut energi dan pemindahan energi. Energi dari cahaya matahari ditangkap oleh komponen ototrofik, yaitu tumbuh-tumbuhan hijau (gambar 2.15). Komponen ototrofik disebut sebagai produsen, di mana energi pada awalnya ditangkap dan disimpan dalam senyawa-senyawa organik tanaman yang merupakan makanan bagi komponen heterotrofik. Organisme heterotrofik meliputi semua bentuk-bentuk kehidupan lain yang mendapatkan energinya

dengan cara mengkonsumsi tumbuhan ototrofik dan disebut organisme pemakan tumbuhan atau konsumen tingkat pertama.



Gambar 2.15 Jalur pemindahan energi dari matahari  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

Komponen terakhir dari struktur trofik suatu ekosistem adalah dekomposer atau pengurai. Pengurai adalah organisme, terutama bakteri, yang memecah molekul organik yang kompleks dari organisme mati menjadi molekul sederhana sehingga dapat digunakan lagi oleh ototrof. Pengurai ini beraksi pada semua tingkatan trofik.

Komponen lain yang diperlukan dari struktur trofik suatu ekosistem adalah komponen abiotik, meliputi sumber energi, nutrien, dan sumber air. Tumbuh-tumbuhan tidak dapat menyediakan energi dan menghasilkan molekul organik yang kompleks tanpa adanya energi sinar matahari atau tanpa adanya serangkaian bahan makanan anorganik, di antaranya yang paling penting adalah nitrat dan fosfat.

#### 2.5.2. Keseimbangan Ekosistem

Populasi, komunitas, dan ekosistem diatur oleh banyak faktor. Faktor utama yang mengendalikan ekosistem dan komunitas adalah energi, faktor lingkungan, dan interaksi antara berbagai spesies yang membentuk sistem tersebut. Di samping itu, batas toleransi berbagai spesies terhadap faktor abiotik misalnya temperatur, cahaya, nutrien, dan salinitas juga membatasi besarnya populasi dan komunitas di lautan. Di dalam suatu ekosistem terjadi interaksi antara berbagai spesies yang bekerja untuk menjaga populasi tetap dalam batas-batasnya. Faktor ini meliputi predasi, kompetisi, parasitisme, dan penyakit.

Predasi adalah peristiwa dikonsumsi satu spesies oleh spesies yang lain. Hewan yang menjadi konsumen disebut *predator* (pemangsa), sedangkan korbannya disebut *pray* (mangsa). Predator mempunyai kemampuan yang

bervariasi untuk mengatur jumlah organisme yang dimakannya. Dalam beberapa kasus, predator dapat menjadi faktor yang sangat penting dalam mengatur jumlah suatu spesies mangsa. Dalam kasus lain, suatu predator hanya mempunyai pengaruh yang kecil terhadap populasi mangsa. Proses predasi ini berhubungan erat dengan peristiwa pemindahan energi dari satu organisme ke organisme lain.

Jalur pemindahan energi dari produsen melalui serangkaian konsumen tertentu sampai pengurai mempunyai mata rantai yang tidak terputus yang dinamakan *rantai makanan*. Pada pemindahan energi dari satu tingkatan ke tingkatan berikutnya, sebagian besar energi tersebut hilang sebagai panas dan dipakai dalam proses metabolisme oleh organisme. Jumlah energi yang hilang cukup besar berkisar antara 80 - 95 persen.

Jalur pemindahan energi dalam ekosistem laut dimulai dari fitoplankton yang menerima energi dari cahaya matahari dan terjadi proses fotosintesis. Fitoplankton ini selanjutnya dimakan oleh zooplankton, yaitu binatang kecil yang melayang di perairan dan pada saatnya zooplankton akan dimakan oleh larva ikan atau binatang kecil lainnya. Rantai makanan ini akan berlanjut sampai pada konsumen tingkat tertinggi.

Binatang pemakan tumbuhan dalam istilah ekologi disebut *herbivora*, pemakan hewan lainnya disebut



*carnivora* dan pemakan tumbuhan dan hewan disebut *omnivora*. Berdasarkan istilah ini, konsumen tingkat pertama adalah herbivora dan konsumen tingkat berikutnya terdiri atas *carnivora* atau *omnivora*.

Jaringan makanan pada beberapa perairan berbeda-beda. Di Antarktika, produksi primer berpusat pada diatom. Herbivora terpenting adalah copepoda dan euphausiid. Organisme ini dimakan oleh paus balin dan ikan-ikan tertentu. *Carnivora* di tingkat paling atas adalah penguin dan mamalia lautan. Di perairan tropis, produsen primer adalah dinoflagellata dan kokolitofor. Herbivora mencakup beragam organisme zooplankton, yang merupakan makanan bagi sejumlah besar ikan, seperti ikan terbang di permukaan laut dan ikan lentera dari mesopelagik. Keseluruhannya merupakan makanan bagi ikan predator tingkat pertama yang lebih besar dan cumi-cumi. Predator pada tingkat ini dimangsa oleh predator yang lebih besar seperti setuhuk, ikan cucut, dan hiu. Pada tingkat teratas adalah hiu yang terbesar.

Kompetisi dalam istilah ekologi berarti interaksi antara organisme untuk mendapatkan suatu sumber yang dibutuhkan yang tersedia dalam jumlah terbatas. Kompetisi dapat bersifat *intraspesifik* (di antara individu dalam spesies yang sama) atau *interspesifik* (di antara individu dari spesies yang berlainan). Kompetisi dapat terjadi

untuk berbagai hal, tetapi biasanya terdapat pada kebutuhan cahaya, makanan, nutrien, air, dan ruang. Di dalam interaksi kompetisi, mereka yang berkompetisi dapat mengatur dirinya untuk memanfaatkan sumber yang terbatas itu bersama-sama atau pihak yang satu menyingkirkan pihak yang lain.

Kompetisi interspesifik biasanya terjadi di antara dua spesies yang sangat dekat hubungannya dan mengakibatkan timbulnya *prinsip eksklusi kompetitif* yang mengatakan dua spesies yang mempunyai kebutuhan yang sangat mirip tidak dapat hidup bersama dalam tempat dan waktu yang sama. Dengan meningkatnya jumlah populasi, meningkat pula kompetisi yang terjadi karena sumber yang terbatas makin langka.

Bentuk interaksi yang lain adalah parasitisme dan penyakit. Parasitisme dan penyakit mempunyai pengaruh terhadap perkembangan populasi. Pengaruh ini dapat berupa pengaruh yang kuat atau pengaruh yang kecil tergantung pada besar kecilnya aktivitas parasit dan penyakit. Parasit adalah organisme yang hidup pada organisme lain dari mana dia mendapat makanan dan tempat bernaung.

Di dalam melakukan interaksinya, berbagai spesies itu menempati suatu habitat tertentu. Habitat dalam pengertian ekologi menunjukkan tempat di mana suatu organisme hidup, yang dapat mempengaruhi dan dipengaruhi

oleh organisme. Habitat laut dibedakan berdasarkan kondisi perairan, seperti temperatur, cahaya, arus dan gelombang, gas terlarut, kedalaman, salinitas, dan sebagainya. Berdasarkan keadaan ini dikenal beberapa habitat di laut, yaitu perairan pantai dangkal (daerah sub litoral = subtidal), daerah pasang-surut (intertidal = litoral), laut terbuka, laut dalam dan sebagainya.

Karakteristik tiap-tiap habitat adalah tidak sama. Begitu juga komposisi organisme yang hidup pada masing-masing habitat itu berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan yang dibutuhkan.

### BAB III

#### KARAKTERISTIK MINYAK BUMI

##### 3.1. Komposisi Minyak Bumi

Minyak bumi adalah minyak mentah cair yang ditambang dari dalam bumi atau didapat dalam bentuk padat karena bercampur dengan batu lumpur (serpih minyak) dan pasir (pasir ter) (Ensiklopedia Nasional Indonesia, 1990).

Secara kimiawi, minyak mentah merupakan campuran banyak jenis hidrokarbon yang molekulnya mengandung satu sampai lebih dari 19 atom karbon. Bila diuraikan, minyak bumi tersusun atas lima unsur kimiawi, yakni 82 sampai 87 % karbon, 11 sampai 15 % hidrogen, 0,01 sampai 6 % sulfur, 0 sampai 2 % oksigen, dan 0,01 sampai 3 % nitrogen. Campuran hidrokarbon yang berbeda membentuk fraksi-fraksi minyak bumi yang berbeda-beda pula. Minyak ringan mengandung sejumlah besar gas-gas terlarut,

bensin, dan fraksi ringan lainnya. Minyak berat memiliki kandungan fraksi berat dan aspal cukup tinggi, dengan kandungan zat tambahan dalam hidrokarbon mencapai 10 %.

Sebagian besar ahli geologi beranggapan bahwa minyak bumi terbentuk dari pengendapan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan dan binatang laut yang mati jutaan tahun yang lalu. Anggapan ini didasarkan atas adanya hidrokarbon jenuh, yaitu pristana yang sudah lama dikenal dan dianggap sebagai karakteristik untuk organisme laut. Pada zooplankton terutama crustacea seperti kopepoda terdapat pristana dalam jumlah 0,01 - 2,94 % dari jumlah seluruh fraksi lipida (Wisaksono, 1987b). Dengan ditemukannya hidrokarbon ini dalam berbagai media, disimpulkan adanya hubungan yang kausal antara adanya organisme di laut, terjadinya sedimentasi, dan terjadinya oil shale dan minyak bumi. Hidrokarbon ini dipandang sebagai salah satu sumbangan alam biologis pada pembentukan hidrokarbon di alam.

Minyak bumi terbentuk dari tumbuhan dan hewan yang tertimbun bersama endapan lumpur, pasir, dan zat lainnya. Selama jutaan tahun timbunan ini mendapat tekanan dan panas secara alami. Bersamaan itu pula bakteri menguraikan senyawa kimia kompleks menjadi hidrokarbon.

Kelompok utama hidrokarbon dalam minyak mentah adalah parafin, naftena, dan hidrokarbon aromatik

(Griswold, 1946; Gatlin, 1960; Bland & Davidson, 1967; AMPOL). Kadang-kadang ditemukan juga olefin dan asetilena (Uren, 1956; Farrington *et al.*, 1976)

Parafin merupakan salah satu kelompok hidrokarbon alifatik yang mempunyai rumus umum  $C_nH_{2n+2}$ , di mana "n" adalah jumlah atom karbon. Parafin disebut juga kelompok alkana atau hidrokarbon jenuh karena masing-masing atom karbonnya terikat pada empat atom lain, sehingga parafin bersifat relatif stabil terhadap reaksi kimia (tidak reaktif) pada kondisi atmosferik. Dengan katalis yang sesuai, reaksi terhadap parafin terjadi dan rantai cenderung memendek ke tengah serta terbentuk sedikit gas. Reaksi ini dapat mengubah parafin menjadi isoparafin, aromatik, dan olefin.

Fase parafin berhubungan dengan berat molekul. Senyawa parafin yang mempunyai berat molekul rendah berwujud gas dan cair, sedangkan parafin yang mempunyai berat molekul tinggi berwujud padat. Metana ( $CH_4$ ) merupakan senyawa parafin yang paling ringan dan merupakan komponen terbesar dari gas bumi. Etana ( $C_2H_6$ ) dan propana ( $C_3H_8$ ) biasanya mencapai 5 sampai 10 persen dari keseluruhan gas bumi, bersama-sama dengan hidrokarbon  $C_4$  dan  $C_5$  (Pine *et al.*, 1988). Alkana merupakan zat non polar, zat yang tidak larut dalam air

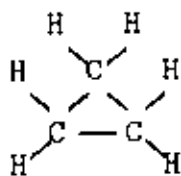
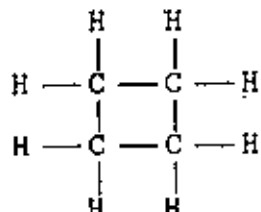
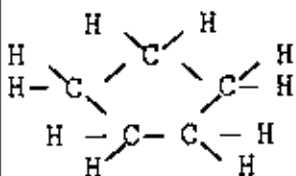
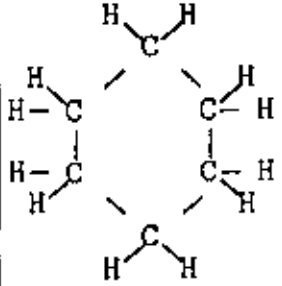
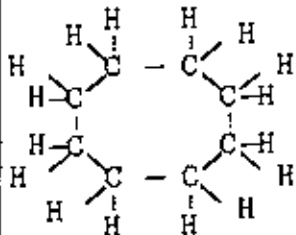
Tabel 3.1 Senyawa Parafin di dalam Minyak Bumi  
(Uren, 1956)

Nama	Rumus	Wujud	td, °C	Kerapatan gr/ml (20°C)
Metana	CH <sub>4</sub>	gas	-164	0,466(-164°)
Etana	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	gas	-89	0,572(-108°)
Propana	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	gas	-42	0,501
Butana	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	gas	1	0,579
Pentana	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	liquid	36	0,626
Hexana	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	liquid	69	0,680
Heptana	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	liquid	98	0,684
Oktana	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	liquid	126	0,703
Nonana	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	liquid	151	0,718
Dekana	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	liquid	174	0,730
Undekana	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	liquid	196	0,740
Oktadekana	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	solid	-	-
Eikosana	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	solid	343	0,789

dengan kerapatan zat cair kurang dari 1 gram/ml. Tabel 3.1 menunjukkan beberapa senyawa parafin yang terdapat di dalam minyak dan gas bumi beserta sifat fisiknya.

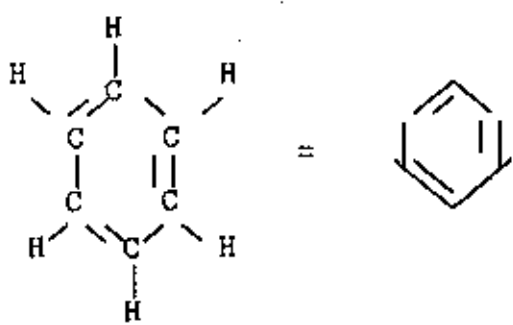
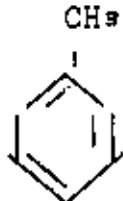
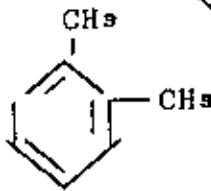
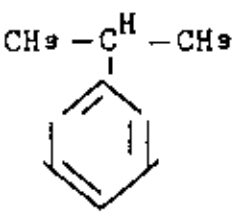
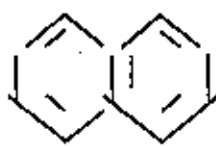
Naftena merupakan hidrokarbon jenuh yang mempunyai rantai siklik, terdiri atas atom karbon yang tersusun dalam satu lingkaran atau lebih, sehingga disebut sikloparafin dengan rumus umum C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>. Naftena adalah

Tabel 3.2 Beberapa senyawa Naftena  
(Pine et al., 1988)

Nama	Rumus	Rumus bangun	td, °C	Kerapatan gr/ml
Siklopropana	$C_3H_6$		-33	0,720
Siklobutana	$C_4H_8$		12	0,720
Siklopentana	$C_5H_{10}$		49	0,746
Sikloheksana	$C_6H_{12}$		81	0,779
Siklooktana	$C_8H_{16}$		149	0,835



Tabel 3.3 Senyawa Hidrokarbon Aromatik  
(Burton & Routh, 1974)

Nama	Rumus	Rumus bangun	td, °C
Benzena	$C_6H_6$		80
Toluena	$C_7H_8$		111
Xylena	$C_8H_{10}$		139
Cumena	$C_9H_{12}$		152
Naftalena	$C_{10}H_8$		

setiap karbon, sehingga olefin bersifat reaktif terhadap pereaksi kimia lainnya. Fase olefin tergantung pada berat molekulnya. Olefin yang mempunyai berat molekul rendah berbentuk gas, seperti etilena ( $C_2H_4$ ).

Di dalam minyak bumi, olefin tidak selalu ditemukan, bahkan ada juga minyak bumi yang tidak mengandung olefin. Tabel 3.4 adalah beberapa senyawa olefin yang terdapat di dalam minyak bumi.

Tabel 3.4 Senyawa Olefin di dalam Minyak Bumi  
(Uren, 1956 dan Pine *et al.*, 1988)

Nama	Rumus	Wujud	td, °C	Kerapatan gr/ml
Etilena	$C_2H_4$	gas	-104	0,384
Propilena	$C_3H_6$	gas	-48	0,519
Butilena	$C_4H_8$	gas	-6,3	0,595
Amilena	$C_5H_{10}$	liquid	30	0,641
Hexilena	$C_6H_{12}$	liquid	64	0,673
Eikosilena	$C_{20}H_{40}$	liquid		
Cerolena	$C_{27}H_{54}$	solid		
Molena	$C_{30}H_{60}$	solid		

Asetilena atau alkuna merupakan hidrokarbon tak jenuh yang memiliki satu atau lebih ikatan rangkap tiga karbon - karbon. Rumus umumnya adalah  $C_nH_{2n-2}$ .

Asetilena merupakan komponen yang sangat kecil terdapat di dalam minyak bumi. Senyawa asetilena dalam minyak bumi itu adalah  $C_{12}H_{22}$ ,  $C_{14}H_{26}$ ,  $C_{16}H_{30}$ ,  $C_{18}H_{34}$ ,  $C_{22}H_{40}$ ,  $C_{24}H_{42}$ , dan  $C_{26}H_{46}$ .

Jenis senyawa lain yang terkandung di dalam minyak bumi dan produknya adalah sulfur (belerang) dan beberapa unsur logam berat. Senyawa sulfur sangat kompleks dan tidak stabil terhadap pengaruh panas. Jenis persenyawaan sulfur dalam minyak bumi adalah hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) dan mercaptan alifatik ( $RSH$ ). Senyawa-senyawa sulfur ini akan berubah secara kimiawi selama proses pengolahan minyak menjadi senyawa sulfur yang sederhana (Semar, 1986). Besarnya kandungan sulfur dalam minyak bumi bervariasi pada tiap-tiap lokasi pengeboran. Minyak bumi dengan kandungan sulfur tinggi terdapat pada pengeboran minyak di Amerika Selatan, Timur Tengah, dan sebagian Eropa. Sedangkan minyak bumi di Amerika Serikat dan Indonesia mempunyai kandungan sulfur yang rendah, kurang dari 0,1 % berat (Bland & Davidson, 1967).

Minyak bumi mentah (crude petroleum) merupakan liquid, pada umumnya berwarna hijau, coklat, dan hitam. Specific gravity berkisar antara 0,73 sampai 1,02 dan

kebanyakan minyak bumi mempunyai Specific gravity 0,8 sampai 0,95. Viskositasnya juga bervariasi antara 0,007 sampai 13 stokes pada 100°F dan kebanyakan minyak bumi mempunyai viskositas antara 0,023 sampai 0,23 stokes.

### 3.2. Produk Minyak Bumi

Minyak bumi cair merupakan suatu campuran yang kompleks dari berbagai senyawa. Bagian yang terbesar dari campuran itu adalah hidrokarbon jenuh.

Proses penyulingan secara besar-besaran dilakukan oleh industri minyak bumi untuk memisahkan berbagai fraksi dari minyak mentah. Dari proses penyulingan minyak mentah bisa didapat bermacam-macam produk minyak bumi. Skema proses penyulingan minyak mentah menjadi produk minyak bumi dapat dilihat pada gambar 3.1.

Penyulingan dimulai dengan distilasi minyak mentah. Fraksi yang terbentuk adalah seperti urutan berikut :

1. Gas ringan, metana, etana, dan sedikit propana (mendidih pada temperatur antara -259 sampai -40°F) digunakan sebagai bahan bakar gas.
2. Propana (mendidih pada temperatur -44°F), merupakan sumber LPG (*Liquefied Petroleum Gas*).
3. Butana (mendidih pada temperatur 11 sampai 31°F), untuk bahan petrokimia.



8. Minyak gas berat (mendidih pada temperatur 600 sampai 800°F).
9. Minyak gas vacuum (mendidih pada temperatur 800 sampai 1100°F), untuk minyak pelumas.
10. Residu (mendidih pada temperatur 1100°F ke atas), sumber minyak bakar berat dan aspal.

Besarnya tiap-tiap produk minyak bumi di atas berbeda-beda pada tiap lokasi pengeboran. Penyulingan minyak bumi di Amerika Serikat menghasilkan gasoline 45 %, kerosine 6 %, minyak gas 23 %, minyak bakar 8 %, produk lain 8 %. Di Eropa, penyulingan minyak bumi menghasilkan gasoline 21 %, kerosine 3 %, distilat 27 %, residu 35 %, lain-lain 14 %. Sedangkan penyulingan minyak bumi mentah dari Indonesia dapat menghasilkan fraksi sekitar 42 % bensin (termasuk premium dan minyak penerbangan), 7 % minyak diesel (solar), 7 % bahan bakar beroktan tinggi, 24 % minyak residu, dan 13 % fraksi minyak bumi yang berfungsi sebagai bahan dasar industri kimia (Ensiklopedia Nasional Indonesia, 1990). Eter petroleum (td 30 - 60°C) dan ligroin (td 60 - 90°C) merupakan bagian liquid yang mudah menguap. Kedua zat itu terutama terdiri atas hidrokarbon C<sub>5</sub> sampai C<sub>7</sub>. Bensin meliputi senyawa C<sub>5</sub> sampai C<sub>10</sub>. Fraksi minyak bumi lain yang penting adalah minyak tanah (td 175 - 325°C, C<sub>8</sub>

sampai C<sub>14</sub>), minyak gas (td di atas 275°C, C<sub>12</sub> sampai C<sub>18</sub>), minyak pelumas (di atas C<sub>18</sub>), dan aspal.

Komponen beberapa fraksi minyak bumi dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Komponen beberapa fraksi minyak bumi  
(Bland & Davidson, 1967)

Fraksi	Komponen hidrokarbon (% berat)		
	Parafin	Naftena	Aromatik
Gasoline	65	30	5
Kerosine	60	30	10
Gas Oil	35	55	15
Heavy distillate	20	65	15

## BAB IV

### PENCEMARAN MINYAK BUMI DI PERAIRAN PANTAI

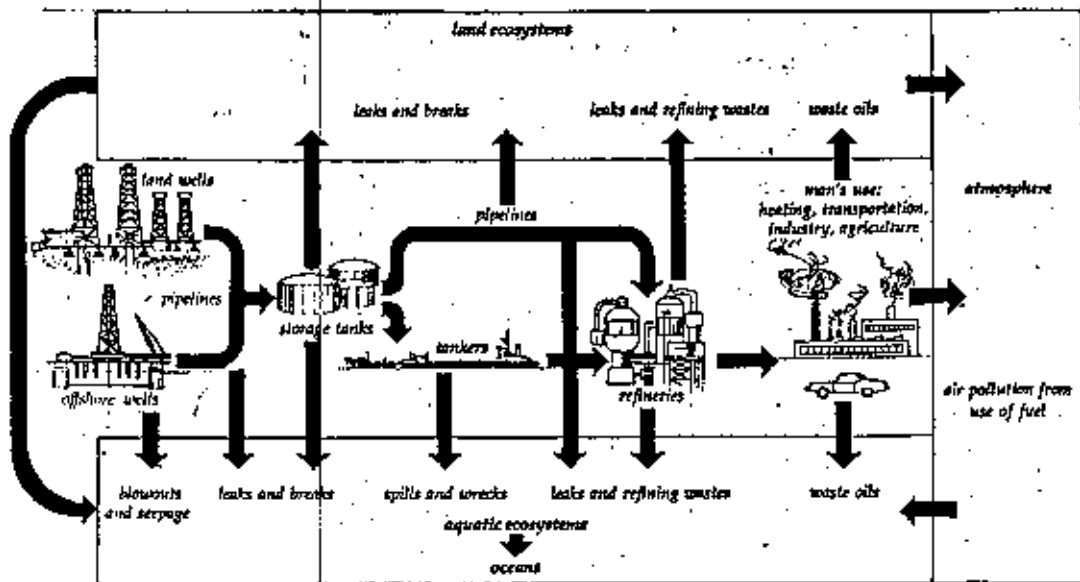
#### 4.1. Sumber Pencemaran

Minyak bumi (*petroleum hydrocarbon*) merupakan salah satu bahan pencemar yang banyak terdapat di lautan, yaitu diperkirakan lebih dari 6 juta metrik ton minyak bumi setiap tahun mencemari lautan (Jeffrey, 1980; Ingmanson dan Wallace, 1985). Sumber pencemaran minyak bumi di lautan itu adalah berbagai aktivitas manusia, baik di lautan maupun di daratan (gambar 4.1).

Sumber pencemaran minyak bumi dikelompokkan pada aktivitas-aktivitas sebagai berikut :

1. Pengeboran minyak bumi
2. Transportasi minyak
3. Pengilangan minyak
4. Pemakaian bahan bakar produk minyak bumi





Gambar 4.1 Sumber pencemaran minyak bumi di laut  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

Pengeboran minyak bumi selalu diikuti oleh ceceran minyak yang pada umumnya disebabkan oleh kebocoran peralatan pengeboran yang kurang sempurna atau kecelakaan kecil lainnya.

Pada pengeboran minyak di laut (di pantai atau lepas pantai), ceceran minyak secara langsung masuk ke laut. Meskipun dalam jumlah yang relatif kecil, tercecernya minyak ini berlangsung secara terus menerus, sehingga jumlah minyak yang mencemari lingkungan laut tidak dapat diabaikan. Jumlah minyak yang masuk dan

mencemari lingkungan laut akan menjadi lebih besar bila terjadi kecelakaan di tempat-tempat pengeboran. Kecelakaan di tempat pengeboran pernah terjadi di teluk Meksiko pada tahun 1979, di mana sumur *Ixtoc I* meledak dan memuntahkan 140 juta galon minyak selama 295 hari. Kecelakaan besar lainnya juga terjadi di pengeboran lepas pantai Santa Barbara, California, yang menumpahkan minyak mentah jenis asphaltik sebesar 70.000 - 700.000 bbl.

Pada pengeboran minyak di daratan, ceceran dan tumpahan minyak akibat kecelakaan tidak mencemari laut secara langsung. Tumpahan minyak di sumur-sumur minyak memasuki perairan dangkal di sekitarnya yang pada saatnya akan terbawa aliran sungai atau aliran *run-off* air hujan dan masuk ke laut melalui muara sungai di perairan pantai.

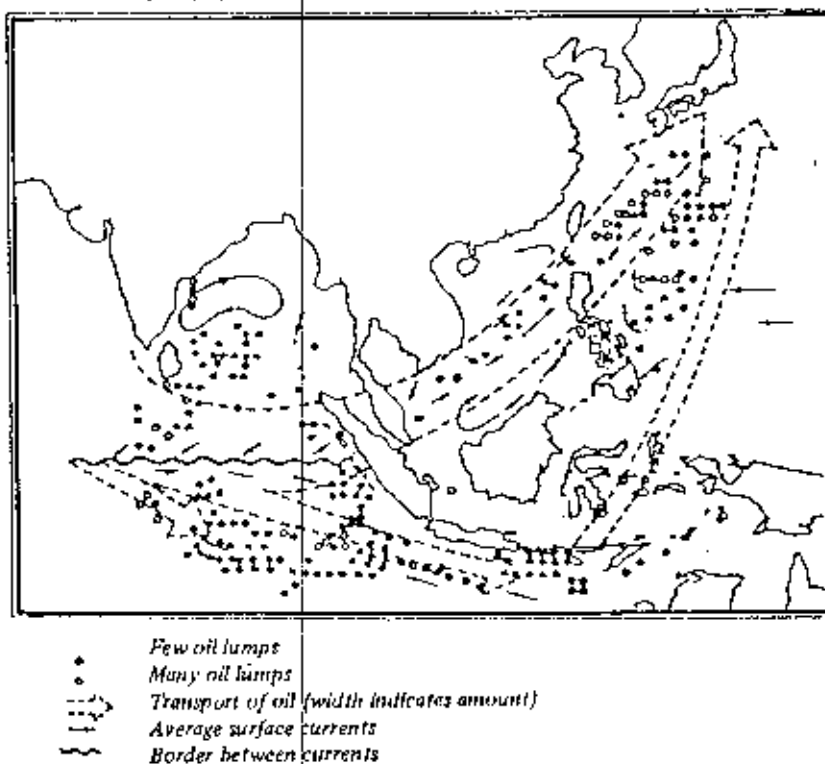
Selain di tempat pengeboran, tumpahan minyak juga dapat terjadi pada saat pengangkutan minyak dari tempat pengeboran menuju tempat penyimpanan atau kilang minyak. Pengangkutan minyak bumi melalui laut pada umumnya dapat merupakan ancaman terhadap lingkungan yang memerlukan perhatian lebih besar karena dalam operasi ini dapat terjadi kecelakaan seperti kapal tanker bertabrakan, kandas, tenggelam, terbakar, dan lain-lain. Terjadinya kecelakaan kapal tanker *Showa Maru* yang kandas di perairan Selat Malaka dekat Pulau Sambu pada tahun 1975

menyebabkan terjadinya pencemaran minyak terbesar yang pernah terjadi di perairan Indonesia karena pada peristiwa itu telah menumpahkan 50.000 bbl minyak (Wisaksono *et al.*, 1987). Tabel 4.1 menunjukkan beberapa kejadian kecelakaan kapal tanker yang menyebabkan pencemaran minyak bumi di laut.

Tabel 4.1 Beberapa Kecelakaan yang Menumpahkan Minyak ke Laut  
(Page *et al.*, 1988; Hutabarat, 1990; Peckol *et al.*, 1990)

Nama Kapal	Lokasi dan Tahun Kejadian	Jenis dan Jumlah Minyak yang Tumpah ke Laut
Tampico Maru	California Maret 1957	55.220 bbl bahan bakar no. 2
Torrey Canyon	Cornwall, Inggris Maret 1967	821.000 bbl minyak mentah Kuwait
Florida barge	West Falmouth Mass.	6.000 bbl bhn bakar diesel no. 2
Tubrukan kapal	Francisco Bay Januari 1971	27.100 bbl bahan bakar Bunker C
Showa Maru	Selat Malaka Januari 1975	3.000 - 4.000 ton minyak mentah
Amoco Cadiz	Brittany Perancis 16 Maret 1978	221.000 ton minyak mentah
Tanio	Brittany Perancis 7 Maret 1980	9.000 ton bahan bakar Bunker C
Exxon Valdez	Selat Alaska Maret 1989	200.000 bbl minyak mentah
World Prodigy	Brenton Rhode Island, Juni 1989	922 ton bahan bakar no. 2

Jumlah minyak yang diangkut melalui perairan Indonesia cukup besar dan akan terus bertambah sejalan dengan meningkatnya konsumsi minyak di Jepang dan Asia Pasifik. Daerah perairan Indonesia, khususnya perairan Riau yang terletak di Selat Malaka merupakan *route* perjalanan kapal-kapal tanker asing yang mengangkut minyak bumi mentah dan produk-produknya dari negara-negara Arab dan Teluk Persia ke Jepang (gambar 4.2). Selat Malaka dapat menjadi masalah bagi kapal-kapal tanker raksasa sehubungan dengan dangkalnya perairan.



Gambar 4.2 Jalur perjalanan kapal dari Arab ke Jepang  
(Bilal, 1987)

Perairan Selat Malaka merupakan perairan paling sibuk kedua di dunia setelah *English Channel*. Lalu lintas laut di Selat Malaka mencapai 150 kapal per hari, 42 di antaranya adalah kapal tanker.

Sejalan dengan meningkatnya permintaan dunia terhadap kebutuhan minyak bumi, kegiatan pengangkutan minyak juga meningkat. Kapal tanker berukuran raksasa dibuat untuk mengantisipasi peningkatan kegiatan pengangkutan ini. Makin besar kuantitas minyak yang harus diangkut akan memperbesar kemungkinan terjadinya pencemaran minyak akibat kecelakaan. Beberapa kapal tanker raksasa yang pernah mengalami kecelakaan adalah kapal tanker *Amoco Cadiz* yang tenggelam di perairan Brittany tahun 1978, menumpahkan minyak sebanyak 257 juta liter (220.000 ton). Sedangkan kapal tanker *Torrey Canyon* (117.000 dwt) tenggelam di perairan lepas pantai Cornwall Inggris tahun 1967 dan menumpahkan 821.000 bbl minyak mentah Kuwait.

Kegiatan di kilang dan terminal minyak merupakan sumber yang dapat menimbulkan pencemaran minyak di perairan, termasuk perairan pantai. Pencemaran minyak dari kilang minyak berasal dari air limbah proses pengilangan yang selalu kontak dengan minyak, misalnya air drain yang berasal dari *stripping*, *desalter*, air dari *treating process*. Air limbah ini selalu mengandung minyak

dan senyawa organik lain seperti ammonium sulfida, fenol dan senyawanya, asam organik, garam, dan lain-lain. Air hujan dari area proses, air drain dari tangki, air untuk *flushing* dan *cleaning*, dan *blowdown* air pendingin juga selalu tercemar oleh minyak (Muchtisar, 1992). Air tersebut setelah digunakan di kilang sebagian besar dibuang kembali ke lingkungan sebagai air limbah. Air limbah yang mengandung minyak dapat mencemari badan air dan akhirnya masuk ke laut.

Di suatu terminal minyak di mana terdapat kegiatan penerimaan dan pengiriman minyak, serta pencucian tanker, tumpahan minyak selalu mungkin terjadi. Sumber pencemaran minyak yang terbesar di terminal minyak adalah pembuangan air *ballast* dari kapal, yaitu air yang diisikan pada pada tanker pada saat tidak bermuatan minyak untuk menjaga keseimbangan kapal. Dalam kasus pembuangan air *ballast* ini, sekurang-kurangnya seminggu sekali dapat ditemukan air *ballast* bercampur minyak mentah di Pelabuhan Dumai yang diduga berasal dari kapal tanker yang lalu lalang di Selat Malaka (Kompas, 16 Februari 1990).

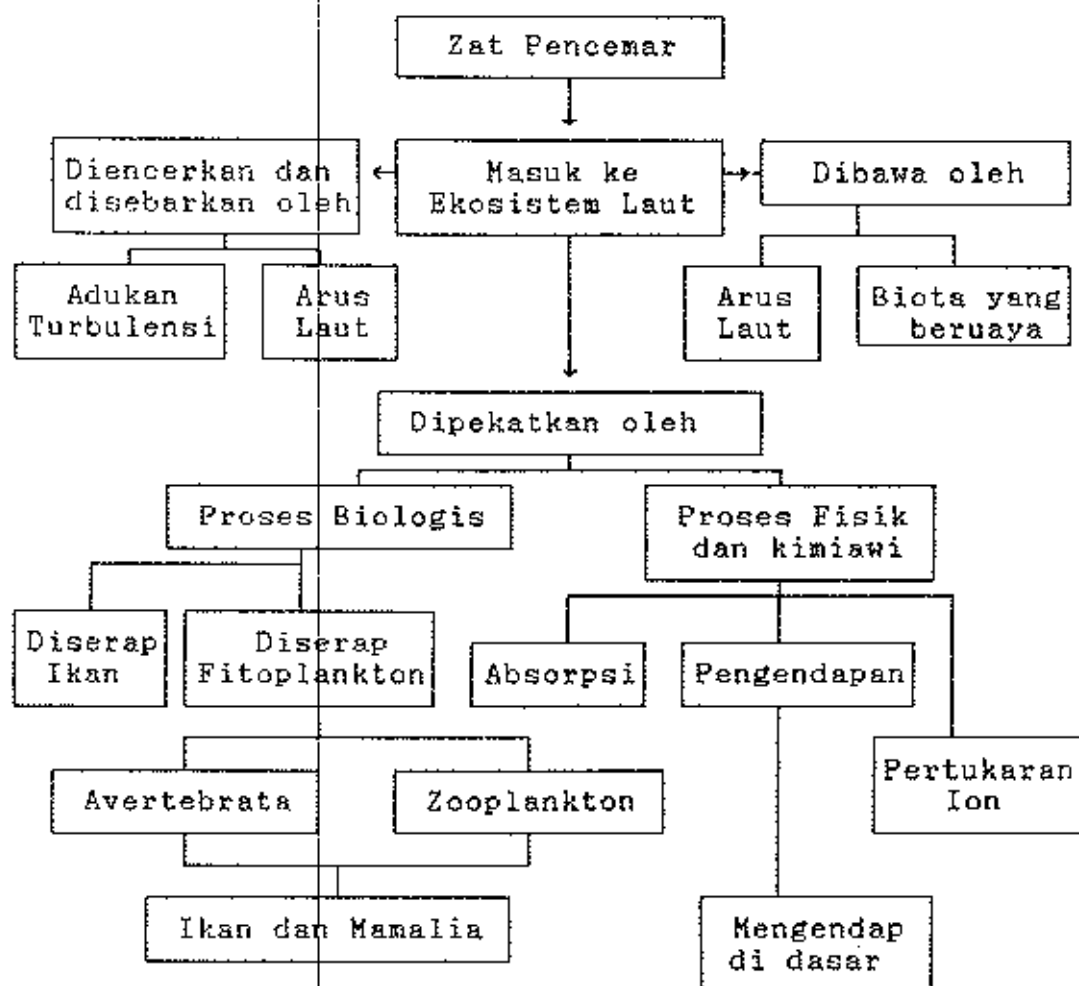
Sumber lain pencemaran minyak yang perlu diperhitungkan adalah berasal dari kegiatan penggunaan bahan bakar minyak, yaitu industri, transportasi, rumah tangga, dan lain-lain. Kontribusi industri dan rumah tangga pada pencemaran minyak di perairan pantai adalah

melalui air limbah yang dihasilkan, yang kemungkinan tercemar oleh minyak bumi atau produk-produknya. Air limbah ini memasuki perairan pantai melalui aliran sungai yang bermuara di pantai. Sedangkan kegiatan transportasi darat mencemari laut melalui masuknya bahan bakar bekas ke dalam perairan, terutama yang berasal bengkel-bengkel kendaraan yang membuang oli bekas ke perairan.

Di samping sumber-sumber di atas, pencemaran minyak di laut juga berasal dari atmosfer (*fall-out hydrocarbon*). Bahan bakar minyak yang dikonsumsi untuk berbagai aktivitas umumnya menghasilkan gas-gas pencemar dan partikel-partikel yang tersebar di atmosfer. Karena massa partikel lebih besar dari pada massa udara, maka partikel-partikel ini turun dan mengendap di permukaan air laut.

#### 4.2. Penyebaran Pollutan

Bahan pollutan yang mencemari suatu perairan laut, dapat terdispersi ke kawasan lain yang lebih luas. Dispersi bahan pollutan itu terjadi karena proses dilusi dan adveksi (Williams, 1979). Dilusi adalah mekanisme penyebaran bahan pollutan yang menyebabkan konsentrasinya lebih kecil. Sedangkan adveksi adalah mekanisme penyebaran pollutan dari satu tempat ke tempat lainnya.



Gambar 4.3 Bagian proses yang terjadi bila zat pencemar masuk ke ekosistem laut (Rominchtarto, 1991)

Berikut adalah kemungkinan-kemungkinan perjalanan bahan pencemar yang masuk ke dalam ekosistem laut (gambar 4.3) :

1. Diencerkan dan disebarakan oleh turbulensi dan arus laut.



2. Dipekatkan melalui :

- a. Proses biologis dengan cara diserap ikan, fitoplankton atau oleh alga bentik, selanjutnya biota-biota ini dimakan oleh pemangsanya dan seterusnya hingga terjadi akumulasi.
- b. Proses fisik dan kimiawi dengan cara absorpsi, pengendapan dan pertukaran ion, kemudian akan mengendap di dasar laut.

3. Terbawa oleh arus laut dan biota yang beruaya (migrasi).

Pada pencemaran minyak bumi di laut, penyebaran pollutan minyak dapat terjadi ke berbagai arah tergantung pada beberapa faktor yang menyebabkan terdispersinya pollutan, antara lain :

- angin
- arus laut
- gelombang
- sifat minyak

Angin yang bertiup di atas permukaan laut berpengaruh terhadap pergerakan pollutan minyak secara horisontal. Kecepatan angin di permukaan laut tidak sama dengan kecepatan gerakan pollutan minyak. Kecepatan gerakan pollutan minyak selalu lebih kecil dari kecepatan angin itu sendiri. Melalui beberapa percobaan yang telah

dilakukan tidak ada suatu hubungan besaran yang pasti antara kecepatan angin dan kecepatan gerakan pollutan minyak, tetapi berada dalam suatu harga interval 2,5 - 4,2 % (Sembiring, 1984). Oleh beberapa negara yang telah melakukan penelitian langsung di lapangan, hubungan itu dinyatakan dalam suatu bentuk persamaan :

$$V_d = 0,033 V_w$$

di mana :

$V_d$  = kecepatan gerakan pollutan minyak di permukaan laut.

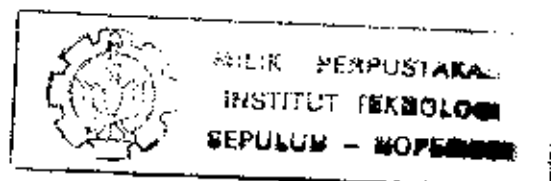
$V_w$  = kecepatan angin di permukaan laut.

- Gerakan pollutan minyak secara horisontal juga dipengaruhi oleh arus laut dengan arah dan kecepatan yang sama dengan arus laut. Pollutan minyak yang berada di bawah pengaruh angin dan arus laut secara bersamaan tidak memberikan kecepatan dan arah gerak yang sesuai dengan arus laut saja, tetapi akan berkurang akibat adanya pengaruh angin. Kecepatan gerak di bawah pengaruh angin dan arus laut ini merupakan jumlah faktor dari kedua pengaruh yang dinyatakan dalam persamaan :

$$V_{wc} = 0,033 V_w + 0,56 V_c$$

di mana :

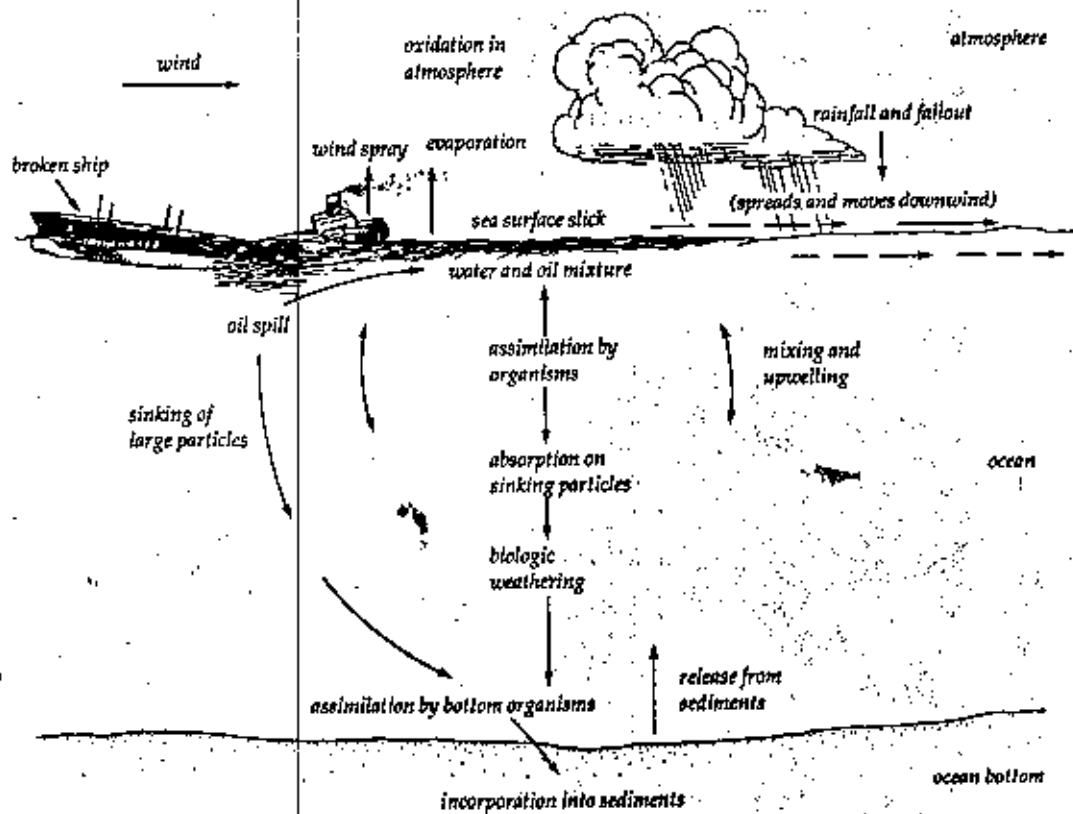
$V_c$  = kecepatan arus di permukaan laut



Gelombang air laut berpengaruh terhadap penyebaran pollutan minyak dengan terjadinya proses pengadukan dan turbulensi yang memungkinkan terpecahnya gumpalan-gumpalan minyak mentah sehingga konsentrasinya lebih encer dan dapat tersebar atau terbawa oleh arus.

Minyak bumi mempunyai sifat lebih ringan dari pada air laut, sehingga terapung di atas permukaan air dan mudah terbawa arus dan tersebar ke kawasan lain. Kecepatan penyebaran minyak tergantung pada volume dan viskositas minyak. Selain itu, minyak bumi dapat terlarut dalam air, sehingga pergerakannya mengikuti arus laut. Minyak yang terbawa arus laut bergerak tidak hanya ke arah horisontal. Pada gerakan air laut secara vertikal (*upwelling* dan *sinking*), minyak dapat terbawa arus ini dan terjadi penyebaran secara vertikal, yaitu turun ke dasar laut atau naik dari dasar laut ke permukaan. Penyebaran minyak secara vertikal ini dapat juga disebabkan oleh migrasi vertikal yang banyak dilakukan oleh biota laut atau terabsorpsi partikel yang yang membawanya tenggelam ke dasar laut (gambar 4.4).

Khusus untuk daerah pantai, faktor yang paling berpengaruh terhadap penyebaran pollutan minyak bumi adalah arus yang disebabkan oleh pasang-surut dan arus dari muara sungai. Pasang-surut pada dasarnya merupakan arus tetap dari dan ke arah pantai. Arus ini dapat



Gambar 4.4 Penyebaran tumpahan minyak di laut  
(Ingmanson & Wallace, 1985)

membawa polutan minyak bumi dari lepas pantai menuju pantai dan sebaliknya. Pada saat air pasang, air dari lepas pantai dapat membawa minyak dan tertinggal di pantai yang melekat di pasir, lumpur, dan batuan di dasar pantai pada saat air surut kembali. Di daerah muara, arus pantai juga dipengaruhi oleh arus sungai yang masuk ke

laut. Arus ini diperkirakan membawa pollutan yang cukup besar dari daratan masuk ke perairan pantai. Selanjutnya pollutan akan tersebar akibat pola arus laut ke daerah lain sesuai dengan arah arus.

Akibat pengaruh beberapa faktor di atas, penyebaran pollutan minyak bumi pada satu tempat akan berbeda dengan tempat lain yang kondisinya berbeda.

Pada lautan terbuka, penyebaran pollutan minyak lebih luas. Hal ini karena pengaruh arus laut yang bebas bergerak dalam jarak yang jauh. Tetapi pada laut tertutup, penyebaran pollutan minyak tidak begitu luas karena tidak terpengaruh oleh arus laut bebas. El-samra *et al.* (1986) dalam penelitian di teluk Persia, yang merupakan laut tertutup, memperoleh konsentrasi minyak bumi terlarut sebesar 1,2 - 546  $\mu\text{g/l}$ , sedangkan Sen-Gupta (dalam Emara, 1990) dalam penelitian di Laut Arab memperoleh konsentrasi petroleum hidrokarbon sebesar 120 - 2440  $\mu\text{g/l}$ . Konsentrasi sebesar ini merupakan konsentrasi terbesar dibandingkan dengan konsentrasi petroleum hidrokarbon di daerah laut lainnya. Hal ini karena Telauk Persia dan Laut Arab merupakan daerah pengeboran minyak yang cukup besar, sementara daerah ini merupakan daerah laut tertutup yang tidak terpengaruh oleh arus laut bebas.

#### 4.3. Pemantauan Pencemaran

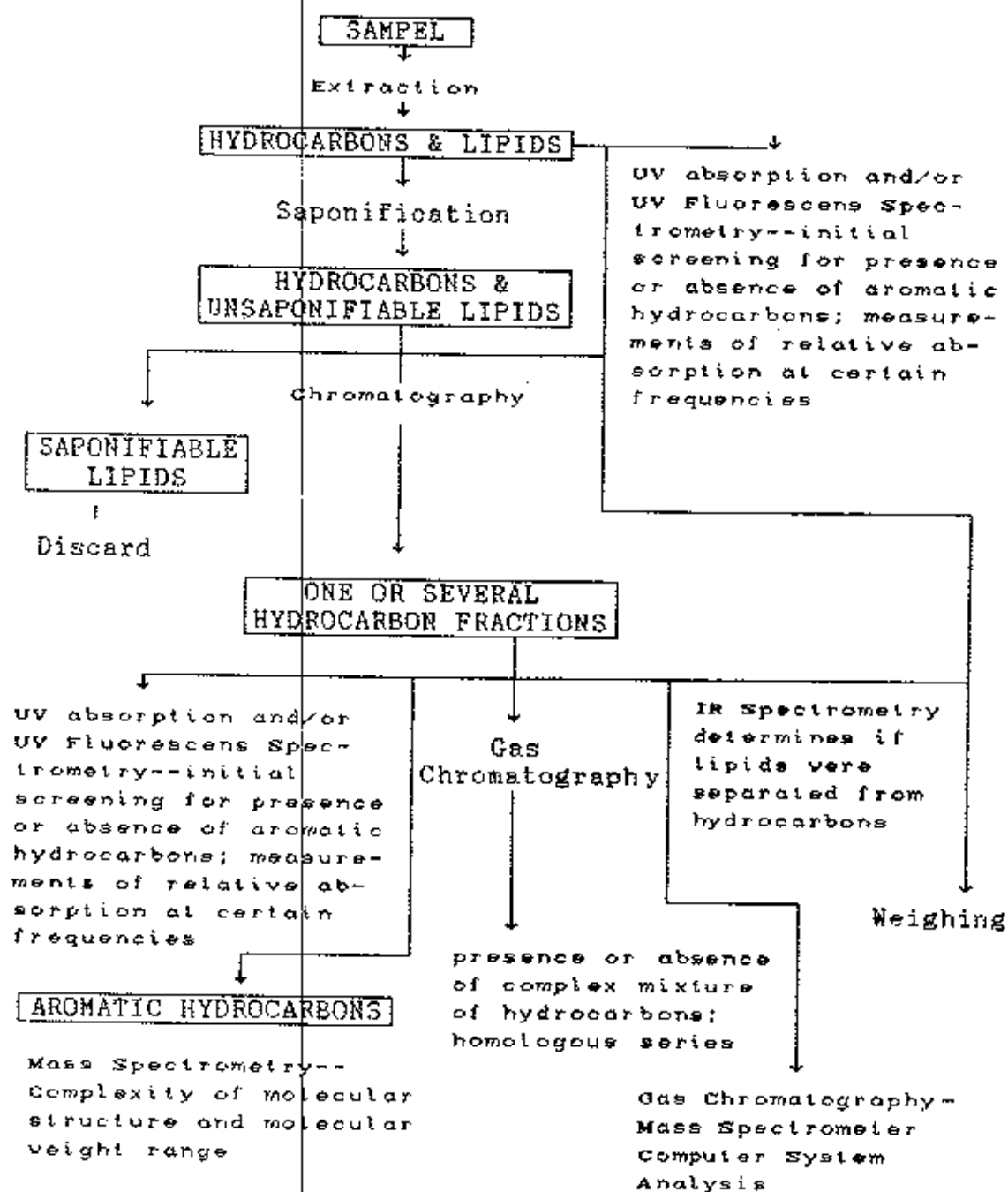
Pemantauan pencemaran laut merupakan bagian dari pengelolaan lingkungan yang didefinisikan sebagai suatu program berkesinambungan tentang modeling, pengukuran, analisa, dan sintesa yang meramalkan dan mengkuantifikasi sifat-sifat lingkungan atau pencemar-pencemar, untuk pembuatan keputusan dalam pengelolaan lingkungan (Rommohtarto, 1981). Pemantauan lingkungan laut sering dilakukan untuk menilai keadaan lingkungan laut, mendeteksi perubahan-perubahan yang terjadi, dan menjaga terhadap pengaruh-pengaruh dari aktivitas yang dapat mencemari laut. Dalam pemantauan pencemaran laut tercakup di dalamnya sejumlah kegiatan yang diperlukan untuk memberikan informasi tentang keadaan lingkungan laut dan terjadinya pencemaran. Kegiatan-kegiatan tersebut dapat meliputi penelitian lapangan dan laboratorium, pengukuran berkala, analisa data, sintesa, dan interpretasi.

Untuk penelitian lapangan dan laboratorium perlu dirumuskan terlebih dahulu secara jelas dan tegas mengenai tujuan yang ingin dicapai, sehingga dapat ditentukan data apa yang akan dikumpulkan dan teknik-teknik pengumpulan data. Dalam pengumpulan data biasanya dijumpai beberapa faktor pembatas yang sangat

menentukan, yaitu tenaga, waktu, dan biaya. Untuk melakukan optimasi terhadap faktor-faktor ini, maka salah satu cara adalah dengan memperkecil jumlah data yang akan diambil melalui teknik sampling. Tujuan teknik sampling ini adalah untuk mendapatkan data yang dapat mewakili dari objek yang akan diteliti tanpa mengurangi keabsahan data itu sendiri (Soedibjo, 1991).

Untuk pemantauan pencemaran minyak bumi di perairan pantai mencakup penelitian kandungan minyak bumi (hidrokarbon) di dalam air laut, sedimen, dan di dalam organisme aquatik (Farrington et al., 1976; Blumer et al., 1978). Ketiga sampel ini dianalisa kandungan hidrokarbonnya dengan langkah seperti pada diagram alir gambar 4.5. Prosedur pengukuran biasanya dengan ekstraksi total atau sebagian dari lipida pada sampel. Hidrokarbon dipisahkan dari lipida tersebut dengan menggunakan khromatografi liquid-solid. Hidrokarbon dipisahkan menjadi beberapa fraksi atau dipisahkan lebih lanjut dengan khromatografi liquid menjadi kelompok-kelompok hidrokarbon seperti alkana (parafin), sikloalkana (naftena), alkena, sikloalkena, dan aromatik. Pengukuran kuantitatif dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer atau detektor khromatografi gas.

Dari data-data hasil penelitian lapangan dan analisa laboratorium, dilakukan pengolahan dan



Gambar 4.5 Diagram alir prosedur analisa hidrokarbon dalam sampel laut (Farrington et al., 1976)



interpretasi data yang selanjutnya digunakan untuk pembuatan keputusan dalam pengelolaan lingkungan laut. Hasil pemantauan lingkungan laut dapat memberikan informasi tentang :

1. *Kepatuhan*, untuk memastikan bahwa suatu kegiatan benar-benar dilaksanakan sesuai dengan peraturan yang berlaku dan persyaratan ijin yang ditentukan.
2. *Verifikasi model*, untuk memeriksa berlakunya anggapan-anggapan yang digunakan sebagai dasar untuk disain sampling atau perijinan dan untuk evaluasi alternatif pengelolaan.
3. *Pemantauan perubahan*, untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi perubahan-perubahan lingkungan jangka panjang yang diharapkan (atau diperkirakan) sebagai akibat yang mungkin oleh kegiatan manusia.

Untuk mengevaluasi suatu hasil pemantauan lingkungan laut diperlukan suatu peraturan sebagai pedoman pelaksanaan pemantauan. Salah satu produk hukum yang dipakai di Indonesia adalah Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Dalam peraturan tersebut, ditetapkan antara lain baku mutu lingkungan laut untuk berbagai peruntukan. Pada tabel 4.2 ditunjukkan baku mutu untuk kadar minyak bumi di lingkungan laut. Nilai-nilai baku mutu tersebut dapat

Tabel 4.2 Baku Mutu Lingkungan Laut untuk Parameter Minyak Bumi

Peruntukan Laut	Kadar Maksimum Minyak Bumi (mg/l)
Pariwisata dan Rekreasi (mandi, renang dan selam)	3
Pariwisata dan Rekreasi (umum dan estetika)	5
Biota Laut (Budidaya perikanan)	5
Biota Laut (Taman laut konservasi)	5
Pertambangan dan Industri (bahan baku dan proses)	2
Pertambangan dan Industri (pendingin)	-

Sumber : Kep. Menteri KLH Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988

digunakan untuk menilai apakah suatu perairan laut tercemar oleh minyak bumi atau tidak.

Hasil pemantauan lingkungan laut juga dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi perairan pada masa yang akan datang dengan menggunakan suatu modeling yang memperhatikan berbagai faktor yang berpengaruh, antara lain perkiraan sumber pencemaran dan perubahan-perubahan kondisi perairan yang mungkin terjadi.

#### 4.4. Pengaruh Pencemaran

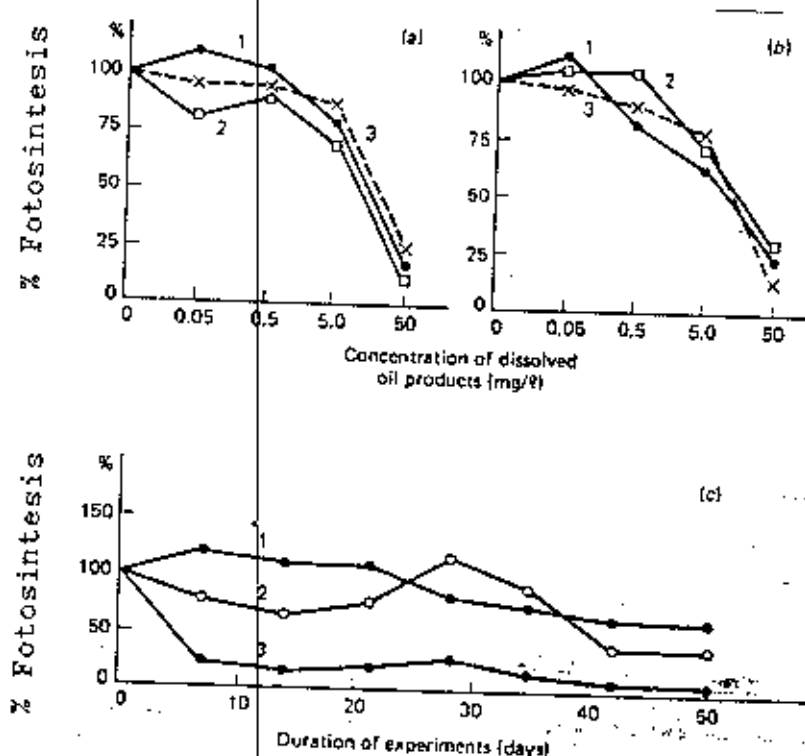
Perairan pantai yang tercemar oleh minyak bumi atau produk-produk dari minyak bumi akan membawa pengaruh negatif yang dirasakan oleh organisme-organisme laut yang pada akhirnya dapat mengganggu kesetimbangan ekosistem di laut. Terganggunya sumber hayati laut dan kesetimbangan ekosistem ini, secara langsung atau tidak, akan merugikan manusia.

##### 4.4.1. Pengaruh terhadap Biota Laut

Pencemaran minyak bumi yang terjadi di perairan pantai secara langsung akan mengenai biota laut antara lain plankton, nekton, dan bentos. Dalam sampling rutin, ketiga jenis organisme inilah yang dijadikan dasar untuk pemantauan tingkat pencemaran minyak di laut (Blumer et al., 1978).

Penelitian di laboratorium dan di lapangan menunjukkan bahwa minyak bumi mempunyai sifat letal (mematikan) dan subletal (mematikan dengan cara tidak langsung). Sifat letal minyak bumi dapat ditunjukkan pada kasus kematian ribuan burung laut akibat perairan tercemar minyak. Hasil uji patologis menunjukkan bahwa dalam tubuh burung-burung yang mati terjadi degradasi

lemak dalam hati, kerusakan saraf, pembesaran limpa, radang paru dan ginjal. Pengaruh subletal minyak bumi terjadi dalam waktu lama yang meliputi gangguan pada proses seluler dan fisiologis, seperti cara makan, reproduksi, tingkah laku, pertumbuhan tidak normal, kegagalan menangkap mangsa, gangguan rangsangan kimia, dan lain-lain.



Gambar 4.6 Efek minyak terhadap fotosintesis fitoplankton  
 a. *Chlorella vulgaris*  
 b. *Scenedesmus obliquus*  
 (lama percobaan: (1) 7 hari (2) 14 hari  
 (3) 21 hari)  
 c. *Ankistrodesmus arquatus*  
 (konsentrasi minyak: (1) 0,05 mg/l (2) 5 mg/l  
 (3) 50 mg/l)  
 (Patin, 1982)

Pada fitoplankton, pencemaran minyak di perairan dapat mempengaruhi tingkat intensitas fotosintesis (Gambar 4.6). Dari gambar 4.6a, tampak bahwa tingkat fotosintesis dan pembelahan sel menurun 50 % atau lebih - dibandingkan dengan kontrol - terjadi pada konsentrasi minyak 5 - 50 mg/l. Sedangkan konsentrasi minyak kurang dari 5 mg/l, pengaruhnya terhadap fotosintesis kurang dari 50 %. Hal ini didukung pula pada percobaan terhadap spesies fitoplankton lainnya yang ditunjukkan pada gambar 4.6c. Pada konsentrasi 0,05 mg/l minyak, penurunan tingkat fotosintesis tidak mencapai 50 %, untuk konsentrasi 5 mg/l penurunan tingkat fotosintesis 50 % baru terjadi pada hari ke-40, padahal untuk konsentrasi 50 mg/l hanya dicapai dalam waktu 4 hari. Hal ini berarti minyak dengan konsentrasi kurang dari 5 mg/l di perairan masih aman bagi kehidupan fitoplankton. Keadaan ini tentu tidak berlaku secara umum untuk semua jenis fitoplankton karena tiap-tiap organisme mempunyai daya tahan yang berbeda-beda terhadap minyak (tabel 4.3).

Tiga jenis diatom, *Ditylum brightwellii*, *Coscinodiscus granii* dan *Chaetoceros curvisetus* mati semuanya setelah 24 jam berada dalam air yang mengandung 10  $\mu$ l/l kerosen, sedangkan *Melosira moniliformis* dan *Grammatophora marina* masih hidup dalam air yang

mengandung kerosen sampai 1 % (GESAMP dalam Hutagalung, 1980).

Tabel 4.3 Tingkat toleransi organisme laut terhadap minyak (Hutagalung, 1980)

Jenis organisme	Jenis minyak	Kadar	Waktu
Sunfish, <i>Lepomis macrochirus</i>	kerosen	2820 - 2990	1 hari
Toadfish, <i>Opsanus tau</i>	minyak mentah	10	1 hari
		1	10 hari
Mummichog	minyak mentah	18	24 hari
	minyak mentah	16,5	48 jam
Minnow, <i>Phoxinus phoxinus</i>	as. naftenat	29 - 36 ppm	48 jam
Bitterling, <i>Rhodeus sericeus</i>	as. naftenat	92 - 118 ppm	24 jam
Oyster, <i>Ostrea edulis</i>	fuel oil	30 - 40	7 hari
Clam, <i>Crassostrea angulata</i>	fuel oil	30 - 40	7 hari
Mussel, <i>Mytilus galloprovincialis</i>	fuel oil	30 - 40	7 hari
Black Sea Topshell, <i>Gibbula divaricata</i>	minyak mentah	1,0	66 - 18 hari
Needleshell, <i>Brithum reticulatum</i>	minyak tanah	1,0	6 - 18 hari
<i>Rissoa euxinica</i>	minyak mentah	1,0	3 - 5 hari
Pond Snail, <i>Physa heterostropha</i>	as. naftenat	6,6 - 15,6 ppm	-
Hydroid, <i>Tubularia cracea</i>	minyak mentah	50	24 jam
Cacing pasir, <i>Nereis virens</i>	minyak mentah	0,1	96 jam
Crass Shrimp, <i>Palaeomonetes vulgaris</i>	minyak mentah	0,05	96 jam

Terjadinya penurunan tingkat fotosintesis di perairan pantai akan menurunkan atau memusnahkan populasi fitoplankton. Kondisi ini merupakan bencana besar bagi kehidupan di perairan karena sebagaimana telah dijelaskan pada bab terdahulu bahwa fitoplankton merupakan dasar bagi semua kehidupan di perairan. Fitoplankton sebagai

produsen utama di perairan, pada rantai makanan akan dimakan oleh zooplankton dan secara berantai akan dimakan oleh konsumen tingkat yang lebih tinggi.

Zooplankton sebagai konsumen tingkat pertama tidak terlepas dari pengaruh pencemaran minyak bumi di laut. Mallet & Lami (dalam Corner & Harris, 1976) berhasil mengidentifikasi adanya polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) di dalam sampel zooplankton di pantai Perancis sebesar 100 - 350 µg/kg berat kering, sementara Whittle et al. (dalam Corner & Harris, 1976) menemukan C<sub>18</sub> - C<sub>34</sub> n-alkana sebesar 3,3 % berat basah zooplankton yang diambil dari Laut Utara.

Tingkat toksisitas (LC-50) minyak bumi terhadap zooplankton diuji oleh Mironov (dalam Corner & Harris, 1976) di Laut Hitam. Pengujian dilakukan dengan minyak bumi terhadap zooplankton, yaitu kopepoda dengan hasil tingkat toksisitas 1 mg/l. Sedangkan pengujian tingkat toksisitas minyak diesel dan minyak tanah terhadap kopepoda spesies *Tigriopus californicus* yang diambil dari perairan pantai menunjukkan tingkat toksisitas minyak diesel adalah 87 mg/l, sedangkan minyak tanah 83 mg/l.

Terjadinya perbedaan dalam kedua penelitian ini menunjukkan bahwa kopepoda di daerah intertidal (perairan pantai) lebih resisten dari pada kopepoda di lautan lepas pantai.

Tetapi kemungkinan lain disebabkan oleh perbedaan komposisi fraksi hidrokarbon sebagai bahan uji. Menurut Fessenden & Fessenden (1986), fraksi hidrokarbon di dalam minyak bumi yang paling toksik dan bersifat karsinogenik adalah hidrokarbon aromatik. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan oleh Wibisono (1989) terhadap ikan bandeng (*Chanos chanos*) stadium fingerling dengan menggunakan dua jenis minyak bumi yang berbeda, yaitu minyak bumi parafinik dari Sumur Cinta 5 Teluk Jakarta (kadar aromatik = 11,63 %) dan minyak bumi intermediate dari Sumur Walio Irian Jaya (kadar aromatik = 14,9 %). Hasil penelitian itu menunjukkan konsentrasi minyak bumi maksimum yang aman (sc = safety concentration) terhadap ikan uji adalah 4761,6 ppm dalam waktu 96 jam untuk minyak parafinik dan sc 96 jam untuk minyak intermediate adalah 1552,4 ppm. Kesimpulannya adalah minyak intermediate (dengan kadar aromatik lebih besar) bersifat lebih toksik dari pada minyak parafinik.

Untuk membandingkan resistensi beberapa jenis biota akuatik pantai terhadap minyak bumi, Wibisono (1987) mengambil tiga macam hewan uji yang bernilai ekonomis, yaitu ikan bandeng (*Chanos chanos*) stadium fingerling, ikan mujair (*Oreochromis mosambicus*) stadium burayak, dan udang api-api (*Metapeneus monocerus*) stadium juvenil. Minyak bumi yang digunakan adalah minyak mentah (crude



oil) jenis naftenik intermediate dari sumur Arjuna. Hasil penelitian itu mengungkapkan bahwa minyak bumi tersebut mempunyai toksisitas tertinggi terhadap udang api-api dengan nilai TLM 50 % (Tolerance Limit Media) = 151,38 ppm. Pada ikan mujair TLM 50 % jam dicapai pada 1513,56 ppm dan ikan bandeng cenderung relatif lebih tahan dengan nilai TLM 50-% jam sebesar 3890,45 ppm.

Tingkat distribusi hidrokarbon di dalam jaringan ikan banyak diungkap oleh beberapa peneliti seperti disajikan pada tabel 4.4. Sedangkan efek minyak bumi terhadap organisme laut secara lengkap disajikan dalam Lampiran 2.

Efek lain yang ditimbulkan oleh minyak adalah efek sinergis yang menyebabkan peningkatan daya toksik minyak karena bersenyawa dengan bahan toksik lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Patin (1982) menunjukkan pengaruh campuran minyak dengan DDT terhadap proses fotosintesis dan pembelahan sel diatom *Ditylum brightwellii* dan *Coscinodiscus granii*. Setelah 7 hari, pengaruh campuran minyak dan DDT tampak lebih besar dalam menurunkan tingkat fotosintesis dan pembelahan sel pada diatom dibandingkan pengaruh minyak atau DDT saja. Minyak dapat mengurangi kelarutan DDT dalam air, tetapi meningkatkan daya larut DDT dalam lemak. Hal ini menyebabkan penetrasi DDT melalui permukaan membran ke dalam tubuh organisme

Tabel 4.4 Distribusi Hidrokarbon di dalam Jaringan Ikan (Whittle &amp; Mackie, 1976)

Species	Tissue	Hydrocarbons ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		Reference
		$\text{C}_{12}\text{-C}_{25}^*$	Pristane	
Eulachon ( <i>Thaleichthys pacificus</i> )	Head and body	Not determined	42.0	Ackman, Addison & Eaton (1968)
	Liver	Not determined	54.0	
Mackerel ( <i>Scomber scombrus</i> )	Muscle	1.9	23.3	Whittle <i>et al.</i> (1974b)
	Liver	3.2	14.4	
Herring ( <i>Clupea harengus</i> )	Muscle	11.8†	365.7	Mackie <i>et al.</i> (1974)
Plaice ( <i>Pleuronectes platessa</i> )	Muscle	0.2	ND	Hardy, Whittle, Mackie & Blackman (unpublished data)
	Liver	1.1	0.01	
Gurnard ( <i>Trigla gurnardus</i> )	Muscle	0.3	ND	Hardy, Whittle, Mackie & Blackman (unpublished data)
	Liver	1.1	0.2	
Bass ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )	Muscle	0.6	ND	Hardy, Whittle, Mackie & Blackman (unpublished data)
	Liver	4.8	0.06	
Whiting ( <i>Gadus merlangus</i> )	Muscle	0.1	ND	Hardy, Whittle, Mackie & Blackman (unpublished data)
	Liver	2.3	0.3	
Sole ( <i>Solea solea</i> )	Muscle	0.3	ND	Hardy, Whittle, Mackie & Blackman (unpublished data)
	Liver	4.6	0.2	

ND, not detected.

\*  $\text{C}_{12}\text{-C}_{25}$ , the sum of the concentrations of n-alkanes  $\text{C}_{12}$  to  $\text{C}_{25}$  inclusive.†  $\text{C}_{18}\text{-C}_{25}$ .

akuatik semakin mudah dan efektif, sehingga daya racun minyak bercampur DDT semakin tinggi. Selain dengan DDT, minyak mempunyai efek sinergis dengan temperatur dan detergen. Sebagai contoh, jumlah larva kepiting (*Gammarus olivii*) yang masih hidup setelah selama 10 hari berada dalam air yang mengandung minyak 0,1 ml/l pada temperatur

3 - 10°C adalah 98 %, tetapi bila temperatur naik menjadi 18°C, jumlah larva kepiting yang masih hidup hanya 20 % (GESAMP dalam Hutagalung, 1990). Nilai LC-50 minyak terhadap kopepoda *Eurytemora affinis* adalah 3000 ppb, sedangkan PCB adalah 10 ppb. Bila minyak dicampur dengan PCB, maka LC-50 terhadap kopepoda tersebut turun menjadi 6 ppb (Patin, 1982). Hal ini menunjukkan bahwa minyak dan PCB mempunyai sifat sinergis.

Selain menimbulkan akibat buruk terhadap organisme akuatik, pencemaran minyak bumi di perairan pantai juga menimbulkan akibat yang hampir sama pada beberapa jenis burung yang hidupnya di sekitar pantai. Pencemaran perairan pantai akibat tenggelamnya kapal tanker *Torrey Canyon* di lepas pantai Inggris tahun 1967 telah mematikan kurang lebih 100.000 ekor burung laut (Hutabarat & Evans, 1985), ribuan itik dan burung air mati akibat tumpahan minyak dari kapal tanker *Delian Apollon* di Yunani dan tumpahan minyak di teluk San Fransisco hanya menyisakan beberapa burung yang masih hidup (Ingmanson & Wallace, 1985).

#### 4.4.2. Pengaruh Pencemaran terhadap Ekosistem Laut

Terjadinya gangguan pada kehidupan organisme akuatik pantai akan berakibat pada ketidakseimbangan

ekosistem perairan karena organisme laut merupakan komponen ekosistem yang penting dan memegang peranan yang besar dalam ekosistem laut, di samping komponen abiotik.

Pencemaran minyak bumi di laut dalam kuantitas yang besar, misalnya tumpahan minyak dari kapal tanker, dalam beberapa hari setelah kejadian kecelakaan dapat menyebar dan mencemari kawasan pantai sampai ratusan kilometer. Penyebaran ini terutama disebabkan oleh angin, arus, dan gelombang laut. Pada kecelakaan kapal super tanker *Amoco Cadiz* di perairan Brittany Perancis, 16 Maret 1978, yang menumpahkan 223.000 ton minyak mentah, telah menyebarkan minyak di laut dan mencemari kawasan perairan pantai pada garis pantai sepanjang 400 km (*Mar. Pollut. Bull.*, 19: 89-90). Dua tahun kemudian, 7 Maret 1980, pada lokasi yang hampir sama (55 km sebelah barat laut lokasi kecelakaan *Amoco Cadiz*) juga terjadi tumpahan minyak bakar Bunker-C sebanyak 900 ton dari kapal tanker *Tanto* (Page et al., 1988).

Kedua peristiwa pencemaran ini dapat merusak habitat perairan pantai yang banyak dihuni oleh berbagai macam organisme akuatik pantai, seperti fitoplankton dan zooplankton, fitobentos dan zoobentos, berbagai jenis ikan dan organisme nektonik lainnya, serta terumbu karang (*coral reef*) maupun hutan mangrove. Pada peristiwa tumpahnya minyak bakar dari kapal *Nestucca* di Pelabuhan

Grays, barat daya Pantai Washington 22 Desember 1988, sekitar 7000 burung laut mati pada 24 Desember. Pada 3 Januari 1989 ditemukan minyak hitam di Taman Nasional Pasific Rim, 8 km dari lokasi kecelakaan (*Mar. Pollut. Bull.* 19: 419-420). Selanjutnya dilaporkan mengenai dampak terhadap berbagai biota laut, antara lain beberapa jenis ikan laut, berang-berang, ikan salem, tumbuhan laut, remis dan tiram, kerang, kepiting, udang, dan rusaknya pantai wisata Taman Nasional Pasific Rim (*Mar. Pollut. Bull.* 20: 107).

Hutan mangrove banyak hidup di sepanjang pantai yang hidupnya beradaptasi di dalam air laut dengan cara desalinasi melalui proses ultra filtrasi. Akar mangrove umumnya tumbuh di dalam lumpur yang berfungsi menyerap oksigen melalui suatu jaringan aerasi yang kontak dengan udara yang dinamakan *breathing roots*. Bila suatu kawasan pantai tercemar oleh minyak bumi, maka lumpur akan tertutup oleh deposit minyak dan dapat merusak sistem akar mangrove, sehingga diffusi oksigen dari udara ke dalam jaringan aerasi terhambat.

Pengaruh langsung toksisitas minyak bumi telah banyak diuji. Adapun pengaruh pencemaran minyak bumi secara tidak langsung yang diterima oleh bermacam-macam organisme itu bersifat gangguan pada kondisi lingkungan atau habitat yang tidak menguntungkan. Adapun bahan

pencemar yang masuk ke dalam lingkungan perairan pantai kemungkinan besar akan mengubah kondisi lingkungan tersebut sampai di luar batas toleransi yang dimiliki oleh masing-masing organisme. Parameter lingkungan laut yang mungkin berubah oleh adanya bahan pencemar minyak bumi adalah transmisi cahaya, kadar oksigen terlarut, temperatur, dan sebagainya, di samping adanya bahan toksik yang terkandung di dalam minyak bumi.

Adanya lapisan minyak bumi di permukaan air dapat mengurangi transmisi cahaya matahari ke dalam air laut. Berkurangnya transmisi cahaya ini disebabkan absorpsi oleh minyak bumi atau cahaya dipantulkan kembali oleh minyak ke udara. Kedua fenomena ini sangat mungkin terjadi karena minyak bumi mempunyai warna yang lebih gelap dan viskositasnya lebih besar.

Selain cahaya, organisme laut membutuhkan oksigen terlarut untuk kebutuhan respirasi. Oksigen terlarut ini berasal dari oksigen di udara yang kontak dengan permukaan air laut. Tetapi karena di permukaan air terdapat lapisan minyak, maka proses pelarutan oksigen ini akan terhambat. Untuk lapisan minyak setebal 1 mm tidak akan mengurangi larutnya oksigen yang berasal dari udara (Schwendiger dalam Wisaksono, 1987a). Makin tebal lapisan minyak, pelarutan oksigen dari udara makin terganggu dan hal ini akan merugikan hewan-hewan laut

yang mutlak membutuhkan oksigen. Penurunan kadar oksigen terlarut di dalam air ini disebabkan juga oleh pemakaian oksigen yang besar untuk penguraian minyak secara biologis. Penguraian 1 gallon minyak secara lengkap membutuhkan semua oksigen terlarut dalam 320.000 gallon air laut jenuh udara (Blumer dalam Johannes, 1975).

Pengaruh lain yang dirasakan oleh ekosistem laut dalam waktu yang lebih panjang adalah sehubungan dengan adanya rantai makanan dalam ekosistem laut. Masuknya komponen pollutan ke dalam rantai makanan menjadikan pollutan berpindah-pindah dari satu organisme ke organisme lain yang dimulai dari fitoplankton sebagai organisme ototrof yang memanfaatkan energi secara langsung di dalam air laut. Fitoplankton yang telah mengandung minyak ini dikonsumsi oleh zooplankton, sementara zooplankton juga terpapar secara langsung oleh minyak. Begitu juga organisme pemangsa tingkat berikutnya dan akhirnya terakumulasi dalam konsentrasi yang lebih besar di dalam tubuh organisme konsumen tingkat tertinggi.

#### **4.4.3. Pengaruh terhadap Manusia**

Perairan laut merupakan salah satu sumber protein yang cukup berpotensi, tetapi pemanfaatan sumber hayati laut ini masih sangat terbatas pada jenis flora dan fauna

tanker *Exxon Valdez*, April 1989, yang mencemari perairan Alaska. Akibat dari cemaran tumpahan minyak mentah ini paling tidak beberapa pulau kecil, terusan, dan semenanjung di dekat kawasan itu, tempat habitat beragam ikan, berang-berang dan singa laut, paus, serta burung laut kini praktis tidak layak ditinggali (Surabaya Post, 4 April 1990). Akibatnya kalangan nelayan setempat mengecam mengenai keterlambatan penyelamatan perairan ini karena industri pengalengan ikan di tempat itu diperkirakan akan mengalami kerugian yang besar dan diperlukan paling cepat 5 tahun untuk memulihkan keadaan lingkungan yang tercemar ini.

Pencemaran minyak di dekat pantai Bombay telah menurunkan jumlah tangkapan ikan dari 149 kg/jam pada tahun 1969 - 1970 menjadi 56 kg/jam pada tahun 1973 - 1974 (Bal & Rao, 1984). Sedangkan pada peristiwa kecelakaan kapal tanker *Showa Maru* di Selat Malaka Januari 1975, menyebabkan produksi tangkapan ikan terubuk (*Mitsa toli*) dari 27,6 ton pada tahun 1974 menjadi 6,1 ton pada tahun 1975 (Bilal, 1990).

Kadar minyak dalam air dan dalam hewan air berbanding lurus. Penelitian di lapangan menunjukkan kadar minyak dalam ikan, tiram, dan kerang di dalam air yang tercemar minyak, lebih tinggi dari pada kadar minyak di dalam hewan yang hidup di perairan yang bersih



(Hutagalung, 1990). Hewan-hewan laut mempunyai kemampuan mengakumulasi minyak di dalam tubuhnya. Adanya akumulasi minyak ini sering menyebabkan daging ikan terasa berbau minyak. Hal ini menimbulkan kerugian yang besar bagi nelayan karena ikan tidak dapat dijual seperti yang dialami oleh nelayan Australia, di mana ikan belanak sebanyak 78 ton yang ditangkap pada 1 Mei - 14 Juni 1968, terpaksa dibuang karena berbau minyak. Rasa minyak ini umumnya disebabkan oleh hidrokarbon aromatik yang mudah menguap seperti dibensotiofen, fenol, asam naftenik, mercaptan, tetra dekana, dan naftalen. Minyak mentah dengan kadar 10 mg/l sudah dapat menyebabkan bau minyak pada daging tiram (GESAMP dalam Hutagalung 1990). Di samping berbau minyak, ikan dan kerang-kerangan dari perairan yang tercemar minyak sering mengandung senyawa yang dapat menimbulkan penyakit kanker. Senyawa ini biasanya terdiri atas polisiklik aromatik seperti 3,4-benz-pyrene (BAP) dan 1,2-benz-anthracene (BaAnth).

Di bidang pariwisata pantai dan bahari, adanya pollutan minyak bumi di perairan akan mengurangi minat wisatawan untuk mengunjungi daerah tersebut karena keindahan perairan telah tertutup oleh lapisan minyak yang tidak menarik lagi dipandang. Untuk melindungi kawasan wisata pantai ini, dikeluarkan Keputusan Menteri KLH Nomor Kep-02/MENKLH/I/1988 (tabel 4.2).

Dalam tinjauan ilmu lingkungan, pengaruh yang dirasakan oleh manusia akibat pencemaran minyak di laut adalah terlibatnya manusia dalam rantai makanan, di mana manusia menjadi konsumen dari hasil-hasil laut itu, sementara di dalam tubuh organisme laut itu terkandung polutan minyak bumi. Hal ini berarti secara tidak langsung manusia juga mengkonsumsi atau memasukkan minyak bumi ke dalam tubuhnya.

Pengaruh toksisitas minyak bumi terhadap manusia memang belum pernah diteliti, tetapi paling tidak, pengaruhnya tidak jauh berbeda dengan toksisitas minyak bumi terhadap hewan.

#### 4.5. Penanggulangan Pencemaran

Mengingat begitu besar pengaruh pencemaran minyak bumi terhadap ekosistem di perairan pantai, maka perlu dilakukan berbagai upaya untuk mencegah dan menanggulangi terjadinya pencemaran.

##### 4.5.1. Pencegahan Pencemaran pada Sumbernya

Pencegahan pencemaran minyak bumi di perairan ditujukan terhadap berbagai sumber penyebab pencemaran. Untuk menekan dampak yang mungkin dapat ditimbulkan oleh kegiatan-kegiatan perminyakan di lepas pantai, pemerintah

Indonesia membuat suatu peraturan yang harus ditaati dalam kegiatan eksplorasi dan pengeboran (Wisaksono, 1987a). Dalam peraturan itu, eksplorasi dan pengeboran tidak boleh dilakukan di tempat bertelurnya ikan, tempat pembiakan mutiara, dan lain-lain, pemakaian bahan peledak pada survai-survai minyak bumi sedapat mungkin dihindari, kecuali dengan izin Pemerintah atas pertimbangan kenyataan bahwa pemakaian bahan peledak dalam jumlah tertentu pada kedalaman lebih dari 12 meter tidak mempunyai akibat negatif. Buangan yang dihasilkan dari kegiatan eksplorasi, pengeboran, dan produksi minyak bumi di lepas pantai harus dimasukkan di dalam kontainer dan dibakar di daratan. Isi peraturan di atas sesuai dengan peraturan internasional yang berlaku untuk kegiatan eksplorasi, pengeboran, dan produksi minyak bumi di lepas pantai.

Di dalam beroperasinya, di lokasi pengeboran selalu terjadi ceceran atau tumpahan minyak ke laut. Karena sifat minyak bumi yang lebih ringan dari pada air, maka tumpahan minyak ini terapung dan dengan mudah akan terbawa oleh arus laut. Untuk mencegah menyebarnya tumpahan ini, tiap anjungan pengeboran, kapal pengeboran atau anjungan terapung harus dilengkapi dengan alat-alat pembendung tumpahan minyak. Minyak yang terperangkap oleh alat pembendung ini selanjutnya dipisahkan dari air laut.

Ada dua macam alat pemisah minyak dan air ini yang dirancang untuk daerah perairan yang tenang, yaitu :

- skimmer permukaan mekanis yang dapat menghilangkan minyak di permukaan air.
- pemisah selektif yang dapat memisahkan air dan minyak.

Alat skimmer mekanis digunakan untuk mengumpulkan sejumlah kecil minyak di permukaan air, kemudian dipompa ke dalam suatu tempat untuk dipisahkan antara minyak dan air secara gravitasi. Untuk daerah laut yang bergelombang dengan tinggi mencapai 6 feet, dikembangkan alat skimmer mekanis yang dilengkapi dengan penghalang (boom) terapung yang berfungsi untuk mengkonsentrasikan minyak dalam suatu wilayah yang luas. Minyak yang terkumpul dipompa dengan kapasitas tinggi yang suctionnya terapung dan ditampung dalam tangki pengendap.

Alat pemisah minyak selektif adalah bahan-bahan polimer hidrofobik dan oleofilik, seperti polypropilene atau polyurethane yang dikontakkan pada permukaan air yang mengandung minyak. Alat ini secara selektif akan menangkap minyak dan melepaskan air. Penggunaan alat ini tidak menimbulkan efek yang merugikan terhadap ekosistem laut.

Pada terminal dan kilang minyak, di mana bongkar muat minyak dilakukan, juga dilengkapi dengan alat pembendung tumpahan minyak yang hampir selalu terjadi.

Untuk mencegah tersebar luasnya tumpahan minyak yang dapat terjadi karena pembongkaran dan pengisian minyak, beberapa pelabuhan minyak di Eropa dan Jepang telah dipasang penghalang-penghalang (*boom*) efektif yang dapat menghalangi tersebarnya minyak bebas di laut (Wisaksono, 1987a). Sebagai penghalang dapat dipakai udara kompresi yang berfungsi sebagai pengekang pneumatis. Dengan berbagai cara, minyak ini kemudian dapat dikumpulkan kembali, seperti *skimming*, penyedotan, dan lain-lain.

Untuk mencegah pembuangan air *ballast* langsung ke laut, diperlukan fasilitas pembersihan air *ballast* di setiap terminal minyak. Air *ballast* ditampung dalam suatu tangki untuk memisahkan minyak sampai kadar tertentu. Pada terminal minyak tradisional biasanya air *ballast* ditampung dalam tangki dan diendapkan selama 10 - 24 jam. Setelah dilakukan pemisahan antara minyak dan air, air yang telah bebas dari minyak dibuang ke laut. Pada terminal minyak yang lebih modern telah dilengkapi fasilitas separator dengan kapasitas sesuai dengan *flowrate* air *ballast*. Dengan demikian pembersihan minyak dari air limbah dapat berjalan lebih cepat dan efektif. Setelah air menjadi lebih bersih dari cemaran minyak, air dapat dibuang ke laut.

Air limbah dari proses pengilangan minyak kemungkinan besar tercemar oleh minyak dan bahan-bahan

lain yang digunakan dalam kilang. Untuk menurunkan kadar minyak dalam air limbah, sebelum dibuang ke lingkungan air limbah diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan effluent air limbah yang memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Dalam Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. KEP-103/MENKLH/II/1991 telah ditetapkan kadar maksimum minyak dan lemak dalam limbah cair dari industri pengilangan minyak, yaitu 25 mg/l (tabel 4.8). Untuk menurunkan kadar minyak dalam air limbah kilang minyak, digunakan *oil-catcher* mekanik, seperti yang telah digunakan oleh kilang minyak Cepu, lapangan minyak Cepu, dan lapangan minyak Badak di Kalimantan Timur.

Untuk mencegah terjadinya pencemaran minyak secara besar-besaran dari kecelakaan kapal tanker perlu diterapkan aturan-aturan yang menyangkut besarnya ukuran kapal tanker, route perjalanan kapal, dan perlengkapan atau alat-alat untuk mengurangi terjadinya kecelakaan di laut. Besarnya ukuran kapal tanker dalam perkembangannya dari tahun ke tahun selalu meningkat. Super tanker terbesar yang sedang diusulkan di Inggris saat ini mempunyai ukuran panjang 1600 feet dan bobot 1.000.000 dwt, sedangkan kapal tanker terbesar yang sudah beroperasi adalah berbobot 500.000 dwt dan panjangnya 390 meter (Ingmanson & Wallace, 1985). Bandingkan dengan

Tabel 4.8 Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Pengilangan Minyak  
(Lampiran IV SK No. KEP-103/MENKLH/II/1991)

Debit Limbah, Maksimum sebesar 1200 m <sup>3</sup> per 1000 m <sup>3</sup> bahan baku minyak			
Parameter		Kadar maksimum	Beban Pencemaran Maksimum
BOD <sub>5</sub>		100 mg/l	120 gram/m <sup>3</sup>
COD		200 mg/l	240 gram/m <sup>3</sup>
Minyak dan Lemak		25 mg/l	30 gram/m <sup>3</sup>
Sulfida (H <sub>2</sub> S)		1,0 mg/l	1,2 gram/m <sup>3</sup>
Phenol total		1,0 mg/l	1,2 gram/m <sup>3</sup>
Cr <sup>+6</sup> (Krom HeksaValen)		0,5 mg/l	0,6 gram/m <sup>3</sup>
NH <sub>3</sub> -N (Amonia total)		10,0 mg/l	12 gram/m <sup>3</sup>
pH		6 - 9	--

kapal tanker *Torrey Canyon* (117.000 dwt, panjang 297 m) yang sudah cukup dahsyat menghancurkan kehidupan akuatik di perairan Inggris tahun 1967. Dengan makin meningkatnya ukuran kapal tanker, akan makin memperbesar resiko yang mungkin ditimbulkan oleh kecelakaan kapal raksasa ini (Zen, 1979). Di samping resiko yang besar terhadap kehidupan perairan, munculnya kapal berukuran raksasa ini dapat menimbulkan masalah dengan kondisi perairan

Indonesia yang dangkal yang sering menjadi penyebab kecelakaan di laut, seperti yang sering terjadi di Selat Malaka. Untuk itu perlu diterapkan peraturan yang mengatur besarnya ukuran kapal tanker maksimum yang boleh melintasi suatu perairan yang disesuaikan dengan kedalaman perairan tersebut.

#### 4.5.2. Penanggulangan Tumpahan Minyak di Laut

Tumpahan minyak bumi di laut dari suatu kecelakaan kapal tanker menyebabkan laut tercemar minyak dalam jumlah yang cukup besar. Untuk penanggulangan pencemaran ini dilakukan upaya-upaya secara fisis, kimiawi, dan mikrobiologis.

Penanggulangan secara fisis dilakukan dengan menggunakan peralatan untuk menahan minyak agar tidak meluas, seperti pemakaian pelampung yang dikombinasikan dengan pompa atau *skimmers* untuk mengambil kembali minyak yang terapung. Pada kondisi tertentu, tumpahan minyak dapat hilang dengan sendirinya karena proses evaporasi, terutama untuk fraksi-fraksi yang volatil, sedangkan pada minyak mentah, evaporasi mampu mengurangi 20 - 40 % minyak (Baker, Arvin *et al.* dalam Indriani, 1992). Pada kejadian tabrakan antara kapal *Ocean 192* dengan kapal tanker *Faith I*, Agustus 1990, yang menumpahkan 2000 ton minyak di perairan sekitar 7 km dari Teluk Delaware,



temperatur udara cukup tinggi yang menyebabkan minyak cepat sekali menguap, sehingga resiko pada pantai New Jersey dan Delaware tidak begitu terasa (*Mar. Pollut. Bull.*, 21: 463).

Proses penguapan di permukaan air menyebabkan fraksi-fraksi berat dari minyak tertinggal. Pengaruh temperatur, sifat-sifat air laut, angin, asosiasi dengan zat lain, menyebabkan terjadi perubahan sifat-sifat minyak bumi, seperti densitas. Bila densitas minyak melampaui densitas air, maka minyak akan tenggelam. Keadaan ini juga terjadi pada tahun 1967 terhadap tumpahan minyak bumi di dekat Helgoland (Jerman) dari kapal tanker *Anne Broving* sebanyak 20.000 ton yang hilang tidak berbekas dan tidak sampai mencemari pantai (Wisaksono, 1987a).

Penenggelaman ini juga dapat dibuat dengan cara menambah serbuk halus pada permukaan minyak. Serbuk ini dapat menyerap minyak bumi, sehingga terjadi penggumpalan dan peningkatan densitas minyak, kemudian tenggelam. Dengan cara menaburkan 3.000 ton kapur halus yang dilapisi stearat, Perancis berhasil menenggelamkan 20.000 ton minyak bumi yang berasal dari kecelakaan *Torrey Canyon*. Bahan-bahan lain yang dapat digunakan adalah *Montana ack* semacam gips, pasir halus yang dilapisi dengan wax dan lain-lain. Menenggelamkan minyak bumi

dengan berbagai cara dilakukan, dan di dasar laut minyak bumi ini selanjutnya digunakan oleh flora bentis.

Fraksi-fraksi minyak bumi yang tidak menguap beserta produk-produknya dapat membentuk emulsi dengan air laut dengan kadar air 30-80 % . Emulsi ini disebut *chocolate mousse* dan bersifat setengah stabil. Stabilisasi disebabkan adanya asfaltenes yang terdapat di dalam minyak bumi atau oleh plankton dan lendir bakteri laut. *Mousse* inilah yang menyebabkan pengotoran pantai dan di daerah pasang-surut.

Pencegahan terjadinya *mousse* ini dilakukan dengan memberikan bahan kimia pemecah emulsi, yaitu dispersan. Dispersan yang telah digunakan adalah Breaxit (BP 1002) yang dilarutkan dalam pelarut yang mengandung aromatis dengan mendidihkan pada temperatur 170 - 220°C. Detergen non-ionis digunakan untuk mendispersikan minyak bumi di laut maupun membersihkan pantai dari *mousse* yang melekat pada pasir, batu, tumbuh-tumbuhan, dan lain-lain. Di Jepang telah dilakukan percobaan untuk membuat emulsi dengan 85 ton minyak bumi dan tiga ton pengemulsi (*Criclean SD brandname* Jepang). Dalam keadaan emulsi halus minyak bumi lebih cepat didestruksi. Destruksi ini dapat terjadi karena sinar matahari (foto-oksidasi). Hasilnya adalah senyawa-senyawa yang larut dalam air, seperti asam, alkohol, sulfoksida, dan lain-lain.

Menurut SCEP (The Study of Critical Environmental Problems) yang disponsori oleh Massachusetts Institute of Technology, pemberian dispersan dalam mengatasi pencemaran minyak di laut lebih berbahaya terhadap biota akuatik dari pada pengaruh minyak bumi itu sendiri (Zen, 1985). Detergen yang telah digunakan di Eropa, seperti BP 1002 menyebabkan musnahnya burung laut dalam jumlah besar. Kerusakan timbul pada sistem vaskuler, pencernaan, dan dampak pada kulit seperti terbakar. Musnah pula molluska, krustasea, anemon laut, rumput laut, ikan-ikan di perairan dangkal, plankton, larvae, dan lain-lain (Wisaksono, 1987a). Dispersan juga menyebabkan meningkatnya penetrasi minyak ke dalam sedimen dan memungkinkan komunitas bentik terpapar pada tingkat yang relatif tinggi.

Dosis letal detergen non-ionis berkisar antara 0,5 - 10.000 mg/l. Ketahanannya tergantung dari spesiesnya (tabel 4.7). Komponen yang sangat toksik dari detergen ini adalah senyawa-senyawa aromatik, sebagaimana yang dikemukakan Fessenden & Fessenden (1986).

Beberapa jenis detergen yang tidak memusnahkan kehidupan di laut antara lain :

- Corexit, suatu dispersan minyak bumi yang sampai konsentrasi 10.000 mg/l tidak letal terhadap udang dan ikan.

- Pyrazon, dispersan yang dipakai untuk kontaminasi berat di laut.
- Polycomplex A, suatu dispersan untuk menghilangkan tumpahan minyak yang ringan.

Mengingat beberapa efek yang ditimbulkan oleh pemakaian dispersan di atas, maka pemakaian dispersan perlu mempertimbangkan keadaan ekosistem setempat. Untuk daerah tropis seperti Indonesia, di mana diversitas ekosistem cukup tinggi, sebaiknya dispersan tidak digunakan. Pemakaian dispersan yang lebih tepat dengan efek yang tidak terlalu besar adalah di daerah lepas pantai pada laut dalam.

Cara ketiga penanggulangan tumpahan minyak di laut adalah dengan cara mikrobiologis. Berbagai mikroorganisme dapat melakukan asimilasi minyak bumi, baik yang berupa bakteri maupun fungi. Lima genus bakteri yang berperan dalam hal ini adalah *Pseudomonas* (Rheinheimer, 1980), *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Flavimonas*, dan *Flavobacterium* (Indriani, 1992). Genus fungi yang berperan adalah *Normodendrum*, *Paecilomyces*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Helminthosporium*, *Alternaria*, dan *Pullularia* (Indriani, 1992). Ada juga algae yang dapat mendegradasi minyak bumi, yaitu *Prototheca zoptii*.

Tabel 4.7 LC50 dari Detergen terhadap Beberapa Spesies  
(Wisaksono, 1987a)

Detergen	Spesies			
	<i>Crangon crangon</i> (udang)	<i>Pandulus montagu</i> (udang)	<i>Cardium edule</i>	<i>Concium maenon</i>
BP 1002	5,8	5,8	81	15
Gamlen OSR	8,8	12,5	15,8	20,4
Essovene	9,6	8,6	6,3	15-20
Cramlen D	9,6	4,5	38,8	
Slickgone 2	3,5	4,5	30,5	21,3
Slix	114	12,1	12,7	200
Atlas 1901	120	87,2	48,5	150
Polycomplex	100-200		33-100	
Dispersol OS	3300-10000			
Corexit	7500-10000			
BP 1100	3300		1000-3300	

Pertumbuhan fungi dan bakteri pada hidrokarbon, terutama berada pada lapisan pembatas air dan hidrokarbon. Kecepatan penggunaan hidrokarbon oleh mikroorganisme seringkali berkaitan erat dengan besar kecilnya kontak antara hidrokarbon dengan air. Proses mikrobiologis ini berjalan lambat sekali, yaitu 1 gram/m<sup>3</sup> air laut per hari dengan populasi mikroorganisme  $8 \times 10^6$  ml. Proses ini dipengaruhi oleh konsentrasi pollutan, konsentrasi

biomassa, temperatur, pH, ketersediaan nutrien, ketersediaan substrat primer, adaptasi, dan lain-lain. Temperatur yang rendah dan pH yang ekstrim akan menghambat aktivitas mikroorganisme pendegradasi.

Selain faktor-faktor tersebut, yang merupakan pembatas biodegradasi minyak adalah ketidakseimbangan nutrisi antara suplai substrat dari minyak dengan kebutuhan N dan P untuk pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini dapat diatasi dengan pemberian  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan  $\text{K}_3\text{PO}_4$ . Ketersediaan oksigen dan besar kontak antara minyak dengan oksigen juga merupakan faktor pembatas karena sebagian besar reaksinya membutuhkan oksigen, sementara difusi oksigen dari udara ke dalam air terhambat oleh adanya lapisan minyak di permukaan air.

Komposisi hidrokarbon dalam minyak bumi akan mempengaruhi sifat-sifat kimia serta penguraiannya oleh mikroorganisme, yaitu :

- Hidrokarbon alifatis lebih mudah didegradasi oleh mikroorganisme dari pada aromatis dan naftenik. Hasil penguraian komponen alifatik biasanya berbentuk alkohol primer, aldehid, dan asam-asam lemak, sedangkan penguraian komponen aromatik menghasilkan asam dikarboksilat atau asam aldehid dikarboksilat.
- Pada umumnya hidrokarbon berantai panjang lebih mudah didegradasi. Akan tetapi rantai yang sangat panjang

sulit didegradasi, bahkan yang mempunyai berat molekul lebih dari 500 - 6000 tidak dapat digunakan sebagai sumber C. Selain itu adanya percabangan akan menghambat biodegradasi.

- Hidrokarbon tak jenuh lebih mudah terurai dari pada hidrokarbon jenuh.
- Hidrokarbon aromatis dengan cincin benzen yang lebih banyak lebih sulit didegradasi. Degradasi terhadap hidrokarbon aromatis dilakukan dengan membuka salah satu cincinnya. Cincin yang telah terbuka tersebut didegradasi menjadi asam piruvat dan  $\text{CO}_2$ . Cincin lain selanjutnya terbuka dan akan mengalami reaksi yang sama.
- Senyawa alisiklik kadang-kadang tidak dapat didegradasi.

BAB V  
STUDI KASUS :  
PENCEMARAN MINYAK BUMI DI PERAIRAN TELUK JAKARTA

5.1. Latar Belakang

Perairan Teluk Jakarta merupakan salah satu penunjang kota Jakarta yang cukup penting, antara lain sebagai media perhubungan laut, perikanan, rekreasi, dan pariwisata.

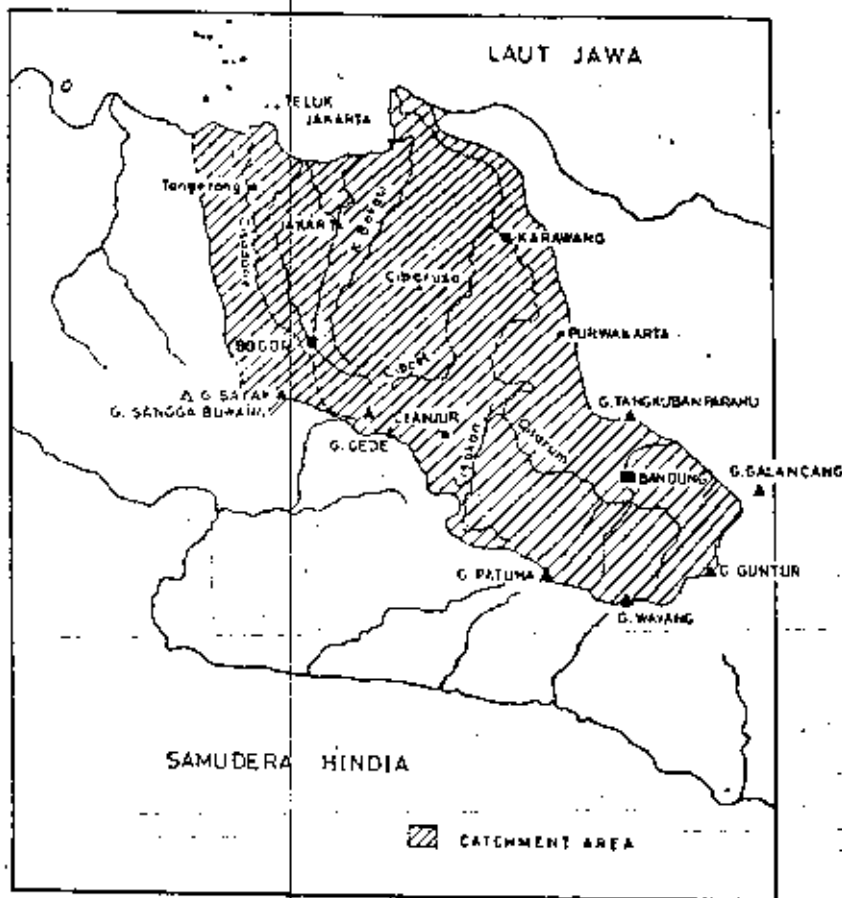
Dalam rangka pengembangan sumber daya laut di perairan ini, Lembaga Oseanologi Nasional (sekarang Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi) - LIPI sejak tahun 1975 telah meluncurkan program pemantauan kondisi perairan Teluk Jakarta yang mencakup bidang fisika, kimia, biologi, dan geologi. Dari pemantauan ini menunjukkan bahwa ekosistem perairan Teluk Jakarta memberikan indikasi adanya tekanan-tekanan ekologis yang semakin besar dengan adanya pencemaran yang berasal dari darat maupun dari laut.



Studi Kasus ini akan mengemukakan terjadinya pencemaran minyak bumi di perairan Teluk Jakarta yang mencakup sumber pencemaran, penyebaran pollutan minyak bumi di perairan, pengaruhnya pada biota dan ekosistem laut, dan memberikan alternatif penanggulangannya. Data-data penunjang untuk analisis diperoleh dari berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan di perairan Teluk Jakarta.

Perairan Teluk Jakarta adalah sebuah perairan di pantai utara Jakarta yang terletak di antara garis pantai utara Jakarta sampai  $05^{\circ}50'$  Lintang Selatan dan  $106^{\circ}36'$  Bujur Timur sampai  $107^{\circ}06'$  Bujur Timur atau dibatasi oleh Tanjung Karawang di sebelah timur dan Tanjung Pasir di sebelah barat. Pada bagian barat dari perairan ini terdapat gugusan kepulauan Seribu dan beberapa pulau karang. Keadaan pantai pada umumnya terdiri dari lumpur, pasir, pasir berlumpur, dan lumpur berpasir. Bentuk pantainya adalah landai dan di tepi pantai sebagian besar ditumbuhi oleh pohon bakau, belukar pantai, dan berawa-rawa. Pada perairan ini cukup banyak sungai besar dan kecil bermuara (gambar 5.1).

Ditinjau dari aspek sosial ekonomi, perairan Teluk Jakarta mempunyai peranan yang sangat penting dalam menunjang perekonomian karena di perairan ini terdapat Pelabuhan Tanjung Priok dan Sunda Kelapa yang merupakan



Gambar 5.1 Daerah penangkapan sungai yang bermuara di Teluk Jakarta (Pardjawan, 1977)

pintu gerbang laut untuk hubungan antar pulau maupun internasional bagi kota Jakarta, pelabuhan minyak Pertamina, dan pelabuhan pendaratan ikan Muara Angke, Muara Kamal, Pasar Ikan, dan Muara Baru yang merupakan tempat pendaratan ikan yang ditangkap dari perairan Teluk Jakarta sampai sekitar kepulauan Seribu dengan produksi yang cukup besar (tabel 5.1). Di samping itu perairan

Tabel 5.1 Produksi Perikanan Laut di Tempat Pelelangan Ikan DKI Jakarta Tahun 1986 - 1987

Nama TPI	Produksi Ikan (ton)	
	Tahun 1986	Tahun 1987
Muara Kamal	162	134
Muara Angke	2.931	3.549
Pasar Ikan	586	2.914
Kali Baru	125	-
Muara Baru	8.923	7.310
Total	12.727	13.907

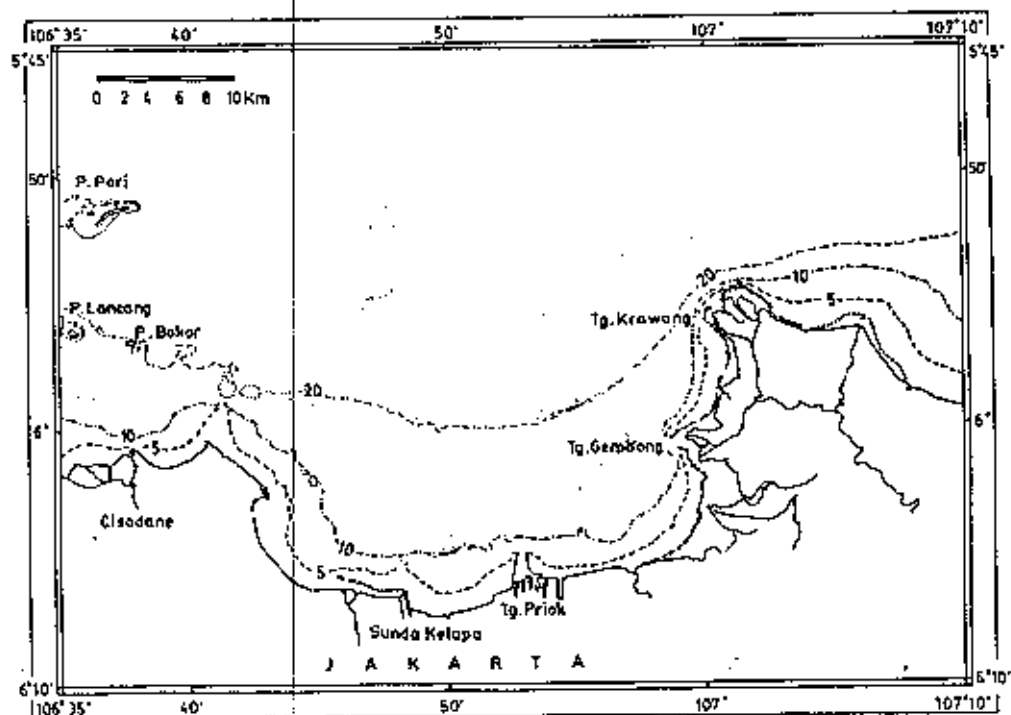
Sumber : Biro Pusat Statistik, 1987

Teluk Jakarta digunakan untuk kegiatan pariwisata bahari seperti di kepulauan Seribu dan di Bina Ria Ancol, dan sebagai tempat pembuangan limbah dari rumah tangga dan industri yang dialirkan melalui muara-muara sungai.

## 5.2. Kondisi Perairan

### 5.2.1. Kedalaman

Perairan Teluk Jakarta merupakan perairan dangkal, umumnya kedalaman kurang dari 30 meter. Kedalaman air di dekat pantai umumnya kurang dari 10 meter. Garis kedalaman (isobath) 5, 10, dan 20 meter kurang lebih sejajar dengan garis pantai (gambar 5.2).



Gambar 5.2 Garis kedalaman di perairan Teluk Jakarta

#### 5.2.2. Arus dan Gelombang

Teluk Jakarta dan sekitarnya (termasuk kepulauan Seribu) merupakan bagian dari Laut Jawa. Oleh karena itu sistem arus yang terjadi di Laut Jawa akan sangat mempengaruhi perairan Teluk Jakarta.

Di sepanjang pantai utara Jawa, dari bulan Mei sampai dengan Oktober berlangsung arus barat secara terus

menerus dengan kekuatan yang cukup besar. Pada bulan Juni kekuatan arus 25 cm/detik dan dalam bulan Agustus 12 cm/detik. Dalam bulan November masih berlangsung arus barat meskipun kekuatannya sudah mulai berkurang. Pada bulan Desember arus sudah berubah menjadi arus timur dan mencapai puncak kekuatannya pada bulan Januari dan Februari, yaitu berkisar antara 25 sampai 38 cm/detik. Pada bulan Maret kekuatan arus mulai berkurang dan arus berangsur-angsur berubah menjadi arus barat pada bulan April (Kastoro & Birowo, 1980).

Di perairan Pantai Muara Karang pada kedalaman 2 meter, kecepatan arus berkisar antara 7 sampai 42 cm/detik, sedangkan pada kedalaman 8 meter berkisar antara 8 sampai 35 cm/detik. Nilai tertinggi untuk kedua kedalaman itu terjadi pada bulan Juli, Agustus, dan September, sedangkan pada musim barat umumnya kecepatannya lebih kecil. Arah arus di bulan Mei sampai November berkisar antara barat dan selatan, dan di bulan Desember sampai April arahnya berubah menjadi antara selatan dan timur.

Arus di perairan dekat Tanjung Karawang mempunyai kekuatan 11,28 cm/detik yang banyak dipengaruhi oleh angin darat yang menghasilkan arus utara dan oleh angin musim barat yang menghasilkan arus timur.

Di perairan pantai Marunda, pada bulan Maret, arus di lapisan atas maupun dalam berkisar antara 7 sampai 37 cm/detik dengan arah antara timur laut dan tenggara. Pada bulan Juli, kecepatan arus berkisar antara 3 sampai 30 cm/detik dengan arah antara barat laut dan barat daya.

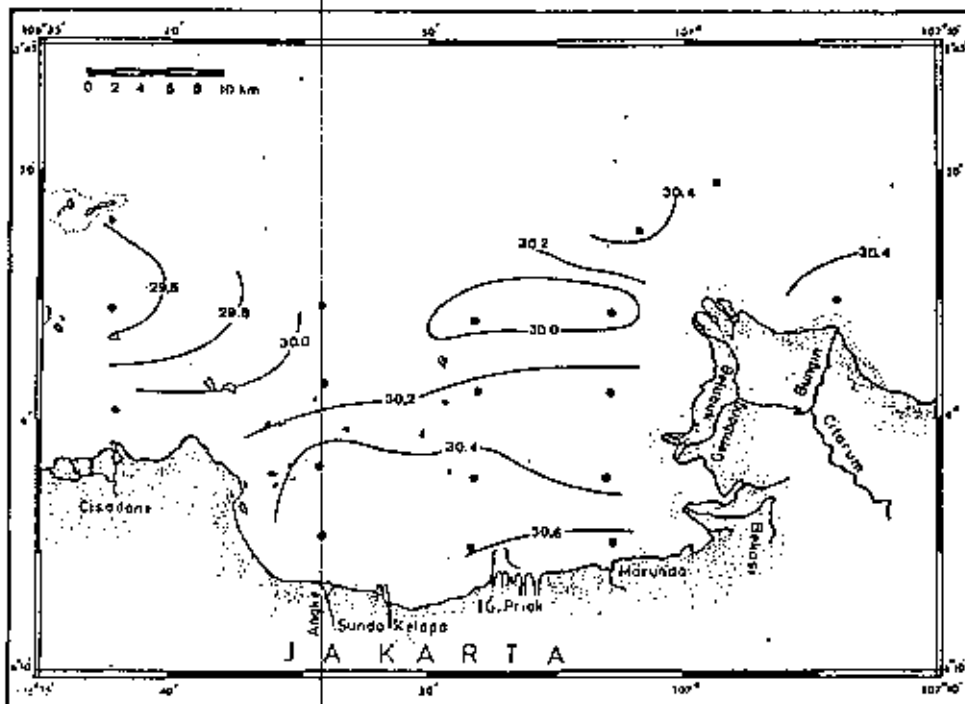
Terjadinya gelombang di perairan Teluk Jakarta juga berbeda dari musim ke musim. Pada musim barat, terutama bulan Desember sampai Maret sering terjadi gelombang agak besar antara 0,5 sampai 1 meter, bahkan dapat mencapai 1,5 sampai 1,75 meter. Pada musim timur, tinggi gelombang mencapai 0,5 sampai 1 meter. Gelombang lebih kecil sekitar 0,5 meter atau kurang terjadi pada musim peralihan, yaitu April-Mei dan Oktober-November.

Arah dan besarnya gelombang dipengaruhi oleh arah dan besarnya angin yang bertiup di atas perairan. Pada musim barat, angin di atas perairan Teluk Jakarta mencapai kecepatan antara 13 sampai 19 knot, sedangkan pada musim timur, angin bertiup dari arah timur laut sampai tenggara dengan kecepatan 7 knot. Pada musim peralihan, arah angin sering berubah-ubah.

### 5.2.3. Temperatur

Pola umum sebaran horisontal temperatur permukaan perairan Teluk Jakarta pada musim peralihan kedua (bulan

November) menunjukkan nilai yang bervariasi antara  $29,60^{\circ}\text{C}$  sampai  $30,40^{\circ}\text{C}$ . Umumnya temperatur di dekat pantai, yaitu di daerah Tanjung Priok, Marunda, Gembong, dan Belubuk menunjukkan nilai temperatur yang lebih tinggi dari pada temperatur di daerah lepas pantai.



Gambar 5.3 Sebaran temperatur permukaan di Persairan Teluk Jakarta pada bulan Mei (Ilahude & Liasaputra, 1980)

Pada musim barat (bulan Januari), temperatur permukaan perairan Teluk Jakarta menunjukkan variasi nilai yang berkisar antara  $28,20^{\circ}\text{C}$  sampai  $29,0^{\circ}\text{C}$ . Temperatur di dekat pantai, terutama di daerah Tanjung Priok dan Marunda dalam musim ini umumnya lebih rendah dari pada di lepas pantai.

Pada musim peralihan satu (bulan Mei) menunjukkan variasi temperatur berkisar antara  $29,60^{\circ}\text{C}$  sampai  $30,60^{\circ}\text{C}$  (gambar 5.3). Pada musim ini, temperatur yang relatif tinggi terjadi di daerah Angke, Tanjung Priok, dan Marunda, dan cenderung menurun ke arah utara (daerah Damar Utara dan Belubuk) dan ke arah barat laut (daerah Cisadane dan Pari). Di sebelah utara Damar Utara dan Belubuk, temperatur cenderung meningkat kembali.

Pada bulan Agustus (musim timur) menunjukkan variasi temperatur berkisar antara  $28,60^{\circ}\text{C}$  sampai  $29,20^{\circ}\text{C}$ . Di daerah pantai, temperatur relatif lebih tinggi, khususnya di daerah Angke dan Tanjung Priok, kemudian menurun ke arah lepas pantai, yaitu di daerah Pari, Dapur, Damar Utara dan Belubuk. Sebelah utara Tanjung Karawang, temperatur cenderung naik kembali.

#### 5.2.4. Salinitas

Pola sebaran umum salinitas di perairan Teluk Jakarta pada bulan November (musim peralihan dua) berada



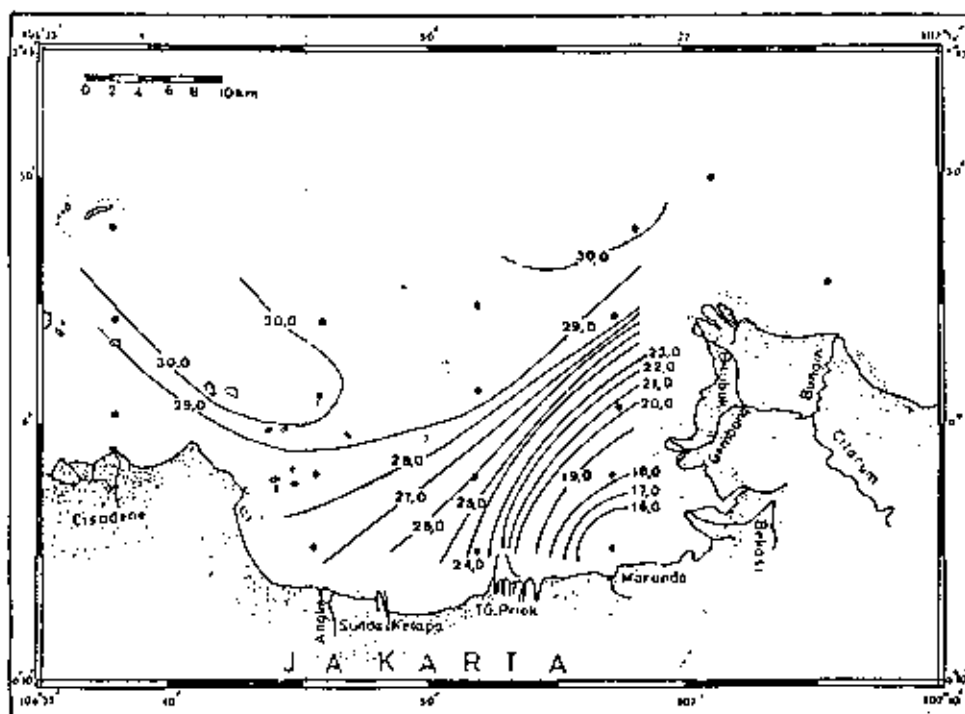
pada kisaran nilai salinitas antara 31,8 ‰ sampai 33,0 ‰. Nilai yang terendah terdapat pada daerah-daerah muara, seperti Marunda, Gembong, Tanjung Priok, Damar Selatan, dan Belubuk. Makin ke arah barat dan barat laut, salinitas makin meningkat. Daerah yang bersalinitas tinggi adalah Pari dan Dapur.

Pola sebaran umum salinitas di perairan Teluk Jakarta pada bulan Januari (musim barat) berada pada kisaran nilai salinitas antara 16,0 sampai 30,0 ‰. Salinitas rendah dijumpai pada daerah muara sungai yang banyak menerima aliran air tawar, sedangkan salinitas tinggi terdapat pada daerah Pari dan Untung Jawa (gambar 5.4).

Pada bulan Mei (musim peralihan satu), pola sebaran umum salinitas di perairan Teluk Jakarta menunjukkan nilai salinitas yang bervariasi antara 29,0 ‰ dan 32,0 ‰. Daerah dengan salinitas rendah adalah di dekat muara-muara sungai Cisadane, Citarum, Gembong, dan di daerah Untung Jawa dan Damar Selatan. Makin ke arah lepas pantai, salinitas cenderung meningkat.

Pada bulan Mei (musim timur), pola sebaran umum salinitas di perairan Teluk Jakarta menunjukkan nilai salinitas yang bervariasi antara 31,4 ‰ dan 32,0 ‰. Daerah yang mempunyai salinitas relatif rendah adalah daerah di sebelah barat teluk, yaitu di Cisadane, Untung

Jawa dan Angke. Sebelah utara daerah ini, salinitasnya meningkat. Begitu juga ke arah timur dan selatan.



Gambar 5.4 Salinitas permukaan perairan Teluk Jakarta pada bulan Januari (Ilahude & Liasaputra, 1980)

#### 5.2.5. Oksigen Terlarut

Kadar oksigen terlarut di perairan Teluk Jakarta berkisar antara 3,2 sampai 5,6 ml/l. Secara umum, kandungan oksigen di perairan Teluk Jakarta adalah jenuh karena lancarnya penyediaan gas oksigen dari udara ke

### 5.2.7 . Kondisi Biologi

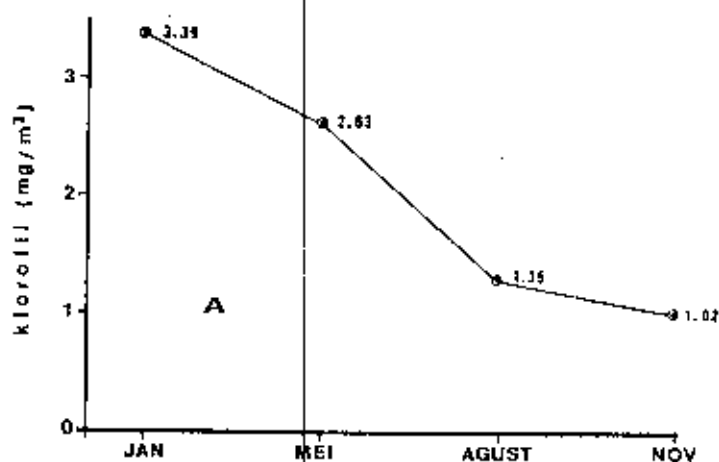
Kehidupan biota laut di perairan Teluk Jakarta yang banyak mendapat perhatian para peneliti adalah fitoplankton, zooplankton, dan hewan-hewan yang bernilai ekonomis meliputi kelompok bentos dan ikan.

Setiapermana *et al.* (1980) telah mengamati keadaan klorofil fitoplankton di Teluk Jakarta dan menyatakan bahwa musim berpengaruh terhadap kandungan klorofil fitoplankton di perairan Teluk Jakarta. Pada musim barat (terjadi musim hujan), yaitu pada bulan Januari, kandungan fitoplankton di perairan ini paling banyak, selanjutnya bulan Mei (musim peralihan satu), bulan Agustus (musim timur), dan yang paling sedikit adalah bulan November (musim peralihan dua) (gambar 5.5). Dari penelitian ini juga diperoleh bahwa jumlah fitoplankton terbanyak adalah di daerah paling dekat dengan pantai. Makin jauh jaraknya dari pantai, jumlahnya makin berkurang. Jumlah fitoplankton rata-rata di perairan Teluk Jakarta yang diteliti Arinardi (1980) pada bulan Januari adalah :

- Diatom : 87.110.890 sel/m<sup>3</sup>
- Dinoflagellata : 119.642 sel/m<sup>3</sup>

Sedangkan pada bulan Agustus adalah :

- Diatom : 17.017.472 sel/m<sup>3</sup>
- Dinoflagellata : 190.992 sel/m<sup>3</sup>



Gambar 5.5 Fluktuasi kepadatan klorofil di Teluk Jakarta (Setiapermana *et al.*, 1980)

Kondisi zooplankton di perairan Teluk Jakarta juga berbeda dari musim ke musim. Pada musim barat, kandungan zooplankton lebih homogen dan lebih padat di dekat perairan pantai serta penyebarannya meluas. Kandungan zooplankton terpadat didapatkan di dekat perairan Angke dan di muara sungai Cisadane. Kandungan terendah adalah di dekat muara sungai Marunda. Nilai rata-rata individu zooplankton pada musim ini adalah  $1.404 \text{ ind/m}^3$ . Pada musim timur, penyebarannya hanya terbatas pada perairan di dalam Teluk Jakarta dan sedikit di bagian timur laut Tanjung Karawang. Kandungan zooplankton terpadat didapatkan di dekat perairan Angke dan yang paling sedikit adalah di bagian selatan gugusan pulau Pari. Nilai rata-rata individu zooplankton pada musim ini adalah  $1.048 \text{ ind/m}^3$ .

Jenis zooplankton yang terbanyak pada kedua musim berbeda. Copepoda, Luciferidae, dan Larvacea menunjukkan nilai rata-rata yang lebih tinggi pada musim barat, sedangkan Ostracoda lebih banyak terdapat pada musim timur.

Kekayaan ikan di perairan Teluk Jakarta pada tiap-tiap lokasi berbeda-beda dan terpengaruh oleh musim. Dalam pengamatan Martosewojo *et al.* (1980), indeks kekayaan jenis ikan yang terbesar didapatkan di Pantai Marunda pada sepanjang musim. Sedangkan untuk daerah-daerah lainnya bervariasi pada tiap musimnya. Pada musim peralihan satu (bulan Mei), indeks kekayaan jenis ikan yang besar ditemukan di Muara Gembong, Muara Angke, dan dekat Tanjung Karawang. Pada bulan Januari (musim barat), indeks kekayaan yang besar adalah di Pulau Pari dan Tanjung Karawang. Untuk musim timur (bulan Agustus), indeks kekayaan jenis ikan tidak begitu besar dan yang terkecil adalah pada bulan November (musim peralihan dua). Jenis ikan yang ditangkap dari perairan Teluk Jakarta dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Jenis Ikan Laut yang Ditangkap di Perairan Teluk Jakarta Tahun 1986 - 1987 (BPS, 1987)

Jenis Ikan	Produksi Tangkapan Ikan (ton)	
	Tahun 1986	Tahun 1987
Layang	324	128
Bawal	89	37
Kembung	117	75
Selar	495	421
Tembang	476	398
Udang	367	901
Teri	8	4
Tongkol	2.241	3.893
Lemuru	9	-
Tengiri	681	500
Layar	17	3
Ekor Kuning	631	372
Ikan Kowe	21	37
Petek	15	6
Manyung	31	8
Pari	105	2.551
Kakap	43	67
Kerapu	1	1
Kurau	-	7
Belanak	12	3
Lainnya	7.044	4.495
Total	12.727	13.907

### 5.3. Potensi Sumber Pencemar

Di perairan Teluk Jakarta terdapat dua pelabuhan besar yang paling sibuk di Indonesia, yaitu Pelabuhan Tanjung Priok dan Sunda Kelapa. Kesibukan di pelabuhan ini membawa beberapa akibat terhadap kualitas perairan, antara lain terdapatnya pollutan minyak bumi di perairan. Pollutan ini berasal dari beroperasinya kapal yang datang dan meninggalkan pelabuhan, di mana setiap kapal yang melewati perairan hampir selalu mengintrodusir pollutan minyak ke dalam air laut, terutama dari pembersihan dan perbaikan mesin kapal.

Dalam suatu penelitian di perairan Teluk Jakarta, ditunjukkan bahwa konsentrasi hidrokarbon di sekitar pelabuhan Tanjung Priok mempunyai angka yang paling tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya di perairan Teluk Jakarta (tabel 5.3). Begitu juga dengan kandungan mikroba hidrokarbono klastik (mikroba pemecah minyak) ditemukan paling banyak di daerah Tanjung Priok (tabel 5.4). Kandungan hidrokarbono klastik dianggap mempunyai korelasi positif terhadap besarnya tingkat pencemaran minyak (Walker & Colwell dalam Thayib & Darmayati, 1988). Beberapa marga hidrokarbono klastik yang berhasil didapat pada perairan Teluk Jakarta adalah *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, dan *Bacillus*.

Tabel 5.3 Konsentrasi Hidrokarbon di Perairan Teluk Jakarta  
(Wisaksono et al. dalam Thayib, 1991)

Lokasi	Konsentrasi hidrokarbon (ppm)
Tanjung Priok	60 - 100
Sekitar P. Air Besar	14,1
Sekitar P. Kelor	20,6
Sekitar P. Sakit	17,1
Sekitar P. Pari	4 - 10

Tabel 5.4 MPN Hidrokarbono klastik per 100 ml di Teluk Jakarta  
(Thayib et al. dalam Thayib, 1991)

Lokasi	MPN Hidrokarbono klastik
Pasar Ikan	2400
Tanjung Priok	11000
Ancol	930
Pulau Air	930
Pulau Pari	730

Dalam pengujian data di tiga lokasi, Tanjung Priok, Pulau Air, dan Pulau Pari, antara konsentrasi hidrokarbon dan MPN Hidrokarbono klastik diperoleh korelasi positif ( $r = 0,99746$ ) yang berarti kandungan hidrokarbono klastik



yang besar dalam suatu perairan menunjukkan besarnya konsentrasi hidrokarbon di perairan tersebut. Dengan demikian pendapat Walker & Colwell (dalam Thayib & Darmayati, 1988) di atas diperkuat oleh kondisi perairan di Teluk Jakarta.

Di samping dari kegiatan lalu lintas laut, pencemaran minyak bumi di Pelabuhan Tanjung Priok dapat juga berasal dari terminal dan depo minyak bumi yang terdapat di dekat Pelabuhan Tanjung Priok.

Kegiatan bongkar muat minyak selalu dilakukan di terminal minyak. Terminal minyak ini menjadi tempat transfer minyak bumi dari beberapa sumur pengeboran minyak di lepas pantai Teluk Jakarta menuju ke kilang minyak. Dalam bongkar muat minyak ini, tumpahan minyak ke laut hampir selalu terjadi. Di samping itu ada kemungkinan pembuangan air *ballast* dari kapal tanker ke laut secara ilegal.

Sumber pencemaran minyak bumi yang lain di Teluk Jakarta adalah dari daratan yang terbawa oleh aliran air sungai yang banyak bermuara di Teluk Jakarta. Beberapa sungai besar yang bermuara di Teluk Jakarta adalah Sungai Cisadane, Kali Bekasi, Citarum, Ciliwung, dan beberapa sungai lain yang *catchment area*-nya meliputi wilayah Jakarta dan sebagian Jawa Barat sampai Bandung (gambar 5.1). Dalam pengalirannya ke laut, sungai-sungai di atas

membawa bahan-bahan pollutan yang berasal dari aktivitas industri dan domestik, termasuk di antaranya adalah pollutan yang berupa minyak bumi. Pollutan minyak bumi ini dihasilkan dari pembuangan minyak bekas pakai, misalnya oli bekas yang berasal dari pabrik, bengkel, dan sebagainya yang dibuang ke saluran atau terbawa air limbah dan masuk ke sungai. Akhirnya melalui sungai-sungai yang bermuara di Teluk Jakarta, minyak bumi mencemari perairan Teluk Jakarta.

Penelitian di perairan Teluk Jakarta (Santoso, *et al.*, 1977) menunjukkan konsentrasi minyak bumi di daerah muara masih lebih kecil dibandingkan dengan di Pelabuhan Tanjung Priok maupun di daerah lepas pantai Teluk Jakarta. Dalam penelitian itu konsentrasi minyak bumi di daerah muara berkisar 0,2 - 1,2 ppm, sedangkan di lepas pantai 0,6 - 1,8 ppm.

Tingginya konsentrasi minyak bumi di lepas pantai Teluk Jakarta kemungkinan berasal dari beberapa sumur pengeboran minyak, antara lain Sumur Cinta di lepas pantai Teluk Jakarta. Kemungkinan lain adalah berasal dari laut bebas yang terbawa arus laut, mengingat Teluk Jakarta merupakan bagian dari Laut Jawa yang berhubungan dengan daerah laut lainnya. Perairan Teluk Jakarta yang banyak dipengaruhi oleh arus Laut Jawa adalah di daerah lepas pantai, sedangkan di dekat pantai relatif tidak

terpengaruh karena terlindung oleh Tanjung Karawang dan Tanjung Pasir.

Di laut Jawa, arus timur terjadi pada musim barat (bulan November - April) dan arus barat terjadi pada bulan Mei - Oktober. Pada waktu terjadi arus timur, air laut yang melintasi perairan Teluk Jakarta berasal dari sebelah barat Pulau Sumatera, termasuk Selat Malaka dan Kepulauan Riau. Selat Malaka merupakan daerah rawan pencemaran minyak karena dalam sehari 150 kapal melintasi perairan ini, 42 di antaranya adalah kapal tanker (Bilal, 1981), sehingga ada kemungkinan pencemaran minyak di daerah Selat Malaka terbawa arus laut masuk ke perairan Teluk Jakarta.

Pada waktu terjadi arus barat, arus di perairan Teluk Jakarta berasal dari Laut Jawa. Di laut ini juga ada beberapa sumur minyak, yaitu di lepas pantai utara Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Adanya perubahan arus musiman ini berpengaruh terhadap konsentrasi hidrokarbon di perairan Teluk Jakarta. Pada bulan November, didapatkan butiran ter (*tarballs*) sebesar  $81 \text{ g/m}^2$ , sedangkan pada bulan Agustus sebesar  $12,3 \text{ g/m}^2$  (Toro & Jamali dalam Bilal, 1987).

Peningkatan jumlah penduduk kota Jakarta yang berarti peningkatan aktivitas manusia di masa mendatang diperkirakan dapat menambah tekanan ekologis terhadap

perairan Teluk Jakarta. Pertumbuhan dan perkembangan industri di kawasan Jakarta dan sekitarnya mengakibatkan peningkatan kuantitas air limbah yang diterima perairan Teluk Jakarta. Air limbah dari proses produksi suatu industri mempunyai kemungkinan tercemar oleh minyak. Dengan meningkatnya berbagai aktivitas manusia itu, terjadi pula peningkatan aktivitas Pelabuhan Tanjung Priok karena pelabuhan ini mempunyai peranan dalam menghubungkan aktivitas manusia di Jakarta dengan aktivitas manusia di daerah lainnya.

Untuk dapat mengidentifikasi aktivitas mana yang memberikan kontribusi pencemaran minyak yang terbesar diperlukan penelitian yang lebih luas dan dalam waktu yang cukup lama. Dalam beberapa penelitian menunjukkan konsentrasi minyak terbesar adalah di lokasi Pelabuhan Tanjung Priok. Meskipun demikian belum tentu aktivitas pelabuhan merupakan sumber pencemar yang dominan karena laut merupakan sistem perairan yang sangat kompleks dan tidak terisolasi dengan daerah lain, sehingga selalu terjadi sirkulasi air laut melalui sistem arus. Perjalanan arus laut mempunyai arah yang berubah-ubah dan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain angin dan densitas air laut. Gerakan air laut ini mampu membawa dan memindahkan massa benda dari satu tempat ke tempat lainnya. Bahan pencemar yang dihasilkan dari banyak

sumber dan aktivitas manusia dapat terdispersi ke kawasan yang lebih luas akibat adanya arus laut ini.

#### 5.4. Pengaruh Pencemaran pada Sumber Hayati Laut

Perairan Teluk Jakarta merupakan perairan pantai yang dangkal dengan kekayaan sumber daya laut yang besar dan menjadi tempat mata pencaharian sebagian penduduk Jakarta. Sumber daya laut yang banyak dieksploitasi di perairan ini adalah ikan laut. Produksi ikan laut di perairan ini pada tahun 1987 adalah 22.445 ton, pada tahun 1988 meningkat menjadi 33.735 ton, dan pada tahun 1989 terjadi penurunan menjadi 27.265 ton (BPS, 1991). Mengingat begitu penting arti perairan Teluk Jakarta, maka pencegahan dan penanggulangan pencemaran perairan, termasuk pencemaran oleh minyak bumi, harus dilakukan sebab terjadinya pencemaran minyak di perairan ini akan berpengaruh terhadap kehidupan organisme dan keseimbangan ekosistem perairan.

Minyak bumi merupakan materi yang tersusun oleh bahan-bahan yang bersifat toksik terhadap organisme laut, sebagaimana hasil pengujian beberapa peneliti yang telah diuraikan pada bab terdahulu. Organisme laut yang terpengaruh oleh sifat toksik minyak bumi antara lain fitoplankton, zooplankton, ikan, tumbuhan pantai, dan

organisme yang hidup di dasar laut (bentos) maupun di kawasan pelagik lainnya.

Fitoplankton sebagai produsen primer di perairan merupakan organisme yang peka terhadap pencemaran minyak bumi yang ditunjukkan dengan terjadinya penurunan tingkat fotosintesis dan pembelahan sel. Jenis fitoplankton yang banyak hidup di laut adalah diatom dan dinoflagellata (Nybakken, 1988). Hal ini juga tampak pada hasil pengamatan fitoplankton di perairan Teluk Jakarta. Diatom yang terdapat di perairan Teluk Jakarta berjumlah besar pada saat musim barat. Pada musim ini, jumlah nutrien (nitrat dan fosfat) di perairan ini lebih besar dari pada jumlah nutrien pada musim timur. Hal ini berarti terdapat hubungan positif antara jumlah nutrien dengan jumlah diatom karena nutrien merupakan salah satu kebutuhan hidup bagi diatom. Hubungan positif juga didapatkan pada jumlah fitoplankton dan zooplankton. Peningkatan jumlah zooplankton diduga karena peningkatan jumlah fitoplankton karena fitoplankton merupakan makanan bagi zooplankton. Pada musim timur, jumlah kedua organisme ini menurun.

Peranan minyak bumi dalam menurunkan populasi plankton di perairan Teluk Jakarta masih belum kelihatan, bahkan produksi tangkapan ikan di beberapa tempat pendaratan ikan di Teluk Jakarta mengalami peningkatan tiap tahunnya, meskipun menurut Pescod (dalam Santoso *et*

al., 1977)), batas toleransi untuk kehidupan akuatik pada daerah tropis terhadap minyak bumi tidak boleh lebih besar dari 0,4 ppm. Berdasarkan batas toleransi ini, maka kondisi perairan Teluk Jakarta sudah kurang aman bagi kehidupan organisme akuatik karena konsentrasi minyak bumi di daerah muara di Teluk Jakarta telah melampaui batas toleransi tersebut, yaitu 0,2 - 1,2 ppm, bahkan untuk daerah lepas pantai, konsentrasinya lebih tinggi lagi, yaitu 0,6 - 1,8 ppm. Pengaruh pollutan minyak bumi yang belum nampak pada organisme laut di perairan Teluk Jakarta ini terjadi karena kompleksnya faktor lingkungan yang berpengaruh.

Arus laut merupakan salah satu faktor yang dapat mendispersikan pollutan ke daerah yang lain sehingga terjadi proses dilusi terhadap konsentrasi pollutan. Terjadinya dilusi pada suatu bahan pencemar akan menyebabkan menurunnya tingkat toksisitas bahan pencemar tersebut. Keadaan ini sangat mungkin terjadi pada perairan Teluk Jakarta mengingat perairan ini merupakan perairan yang terbuka dan pola aliran arusnya terpengaruh oleh arus laut dari daerah lain, yaitu berhubungan dengan Laut Jawa, Laut Cina Selatan, dan Samudra Hindia.

Terjadinya degradasi minyak bumi oleh mikro-organisme juga menjadi salah satu faktor yang mengurangi tingkat toksisitas minyak bumi di perairan Teluk Jakarta.

Di daerah ini proses degradasi minyak bumi dapat berlangsung dengan baik karena banyaknya mikroorganisme yang tergolong ke dalam hidrokarbono klastik sebagaimana hasil penelitian Thayib *et al.* (dalam Thayib, 1991). Proses degradasi minyak bumi oleh mikroorganisme di perairan ini dapat berlangsung dengan cepat karena tersedianya oksigen terlarut yang cukup besar dan mendekati jenuh, kecuali untuk daerah dekat muara sungai yang banyak membawa air limbah dari daratan (Ilahude & Liasaputra, 1980). Di samping suplai oksigen yang cukup, proses biodegradasi juga dapat berlangsung cepat pada daerah tropis (Corredor, 1990). Temperatur yang tinggi pada daerah tropis juga dapat menyebabkan terjadinya evaporasi minyak bumi, sehingga jumlah pollutan di dalam perairan berkurang.

Meskipun pengaruh minyak bumi terhadap organisme akuatik di perairan Teluk Jakarta belum kelihatan, bukan berarti tidak ada bahaya yang mengancam keseimbangan ekosistem. Pengaruh yang diterima organisme laut mungkin bersifat subletal, atau mematikan dalam waktu lama, sehingga seakan-akan pollutan ini tidak berdampak negatif terhadap kehidupan perairan. Minyak bumi merupakan bahan yang bersifat persisten di lingkungan, terutama bila pollutan ini telah masuk ke dalam jaringan tubuh organisme dan terlibat dalam rantai makanan. Serangkaian



makan-memakan di antara organisme akuatik ini berarti mentransfer pollutan dari organisme yang satu ke organisme lainnya. Akumulasi pollutan akan terjadi pada organisme tingkat tertinggi, yaitu ikan. Selanjutnya ikan yang mengakumulasi pollutan minyak bumi, suatu bahan yang bersifat karsinogenik ini dikonsumsi oleh manusia.

Selain terhadap hewan laut, minyak bumi juga mempunyai efek yang merugikan terhadap tumbuhan di pantai, seperti rumput laut dan hutan mangrove. Indonesia mempunyai hutan mangrove yang sangat luas, yaitu 3.627.000 ha, termasuk di antaranya adalah hutan mangrove yang banyak tumbuh di pantai utara Jakarta. Dalam suatu penelitian laboratorium oleh Mathias (dalam Bilal, 1990) tentang efek minyak diesel terhadap mangrove, diperoleh hasil bahwa pada konsentrasi rendah minyak diesel mampu menghambat pertumbuhan mangrove karena kematian jaringan *meristem*, yaitu jaringan pertumbuhan suatu tanaman, sedangkan pada konsentrasi tinggi minyak diesel menyebabkan mangrove mati dalam waktu dua minggu.

#### 5.5. Alternatif Penanggulangan Pencemaran

Perairan Teluk Jakarta mempunyai tata guna perairan yang bermacam-macam, yaitu sebagai sarana transportasi laut, pariwisata dan rekreasi, budidaya perikanan, taman

laut, pertambangan, dan industri. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, masing-masing tata guna perairan laut di atas tidak boleh tercemar oleh minyak bumi sampai kadar maksimum tertentu (tabel 4.2). Peraturan ini diharapkan dapat menjadi pedoman dalam memonitor kualitas perairan Teluk Jakarta. Untuk dapat memenuhi baku mutu seperti diatur dalam peraturan tersebut, perlu dilakukan usaha-usaha pencegahan dan penanggulangan sebagaimana diuraikan pada bab terdahulu.

Untuk perairan Teluk Jakarta, perlu dilakukan penelitian yang mendalam dan secara periodik untuk mengetahui kondisi perairan dari waktu ke waktu dan mengetahui pula sumber pencemaran yang paling dominan. Bila sumber pencemaran telah ditemukan, maka langkah yang dilakukan adalah penanganan terhadap sumber pencemaran tersebut. Untuk pencemaran minyak bumi yang sifatnya rutin dan kecil, kiranya daya dukung lingkungan perairan Teluk Jakarta telah mampu mereduksi pencemar ini dengan proses biodegradasi. Tetapi bila terjadi pencemaran yang jumlahnya besar, hal ini tidak mungkin hanya dengan mengandalkan kemampuan alami dari perairan, setidaknya harus dicegah terjadinya perluasan wilayah yang tercemar, yaitu dengan mengisolasi daerah pencemaran

dengan memberikan penghalang minyak bumi berupa pelampung. Minyak yang terperangkap di dalam penghalang ini dipompa ke dalam tangki untuk dipisahkan antara minyak dan air secara gravitasi. Pencemaran dalam jumlah besar ini kemungkinan terjadi di sekitar Pelabuhan Tanjung Priok dan terminal minyak Pertamina. Untuk itu pengawasan harus dilakukan dan tindakan tegas segera dilakukan bila diketahui adanya pencemaran, terutama pencemaran yang disebabkan oleh pembuangan minyak dari bekas perbaikan mesin-mesin kapal atau dari pembuangan air ballast secara sengaja oleh pihak yang tidak bertanggung jawab.

Di dalam pemilihan metode pencegahan dan penanggulangan pencemaran minyak di perairan Teluk Jakarta, kelestarian ekosistem harus menjadi pertimbangan utama mengingat besarnya jumlah dan keragaman organisme laut di perairan ini.

Dispersan sebaiknya tidak digunakan di perairan ini untuk menanggulangi pencemaran minyak karena efek dispersan yang kurang menguntungkan terhadap ekosistem. Begitu juga dengan metode pembakaran lapisan minyak sebaiknya tidak dilakukan, meskipun metode ini tidak mahal dan cepat menghilangkan minyak, bensin, atau LNG di permukaan air (Wisaksono, 1987c) karena perairan ini dekat dengan pelabuhan dan daratan serta efek yang

merugikan terhadap organisme akuatik. Penenggelaman minyak tidak dianjurkan untuk mengatasi pencemaran minyak bila terjadi tumpahan minyak di perairan Teluk Jakarta. Metode ini memang dapat membersihkan minyak di permukaan air, tetapi kerusakan yang besar akan dirasakan oleh organisme benthik.

Tindakan pencegahan yang mempunyai peranan penting dalam mengurangi beban pencemaran minyak bumi di perairan Teluk Jakarta adalah dengan menerapkan peraturan yang tegas mengenai baku mutu air limbah industri dan domestik yang dibuang ke sungai dan bermuara di Teluk Jakarta. Bila baku mutu, baik *effluent standard* maupun *stream standard*, diterapkan dengan tegas diharapkan beban pencemaran di perairan Teluk Jakarta akan berkurang sebab sumber pencemaran minyak bumi di laut yang terbesar adalah dari aliran sungai yang bermuara ke laut, yaitu sekitar 26 % dari total sumber pencemaran minyak bumi ke laut (Jeffrey, 1980).

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari pembahasan pada bab terdahulu diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan mengambil faktor aplikasi 5 - 10 % (Wibisono, 1989), konsentrasi maksimum minyak bumi di perairan tidak boleh lebih dari 0,25 - 0,5 mg/l agar proses fotosintesis dapat berlangsung dengan baik. Hal ini didasarkan pada hasil penelitian bahwa fitoplankton yang hidup di perairan dengan konsentrasi minyak lebih dari 5 mg/l, mengalami penurunan tingkat fotosintesis sebesar 50 % atau lebih (Patin, 1982). Perhitungan konsentrasi minyak bumi maksimum yang aman bagi fitoplankton ini dapat digunakan dalam menetapkan baku mutu perairan laut yang diperuntukkan bagi pengembangan sumber hayati laut karena fitoplankton merupakan produsen primer dan menjadi dasar bagi semua kehidupan akuatik.

2. Perairan Teluk Jakarta yang mengandung minyak bumi dengan konsentrasi berkisar antara 0,2 sampai 100 ppm, secara hukum belum dapat dinyatakan telah terjadi pencemaran karena belum adanya peraturan tentang peruntukan perairan Teluk Jakarta sebagaimana dimaksud dalam Undang-Undang Nomor 4 Tahun 1982 dan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan. Meskipun demikian, konsentrasi minyak bumi di atas telah melampaui batas toleransi kehidupan akuatik di daerah tropis, yaitu 0,4 ppm (Pescod dalam Santoso et al., 1977)
3. Dari analisa data kandungan hidrokarbon dan jumlah mikroorganisme hidrokarbono klastik di beberapa lokasi perairan Teluk Jakarta diperoleh hubungan positif antara kandungan hidrokarbon dan jumlah mikroorganisme hidrokarbono klastik dengan  $r = 0,99746$ . Hal ini berarti mendukung pendapat Walker dan Colwell. Dengan nilai korelasi mendekati 1 menunjukkan bahwa naik turunnya kandungan hidrokarbon sangat berpengaruh pada naik turunnya jumlah mikroorganisme hidrokarbono klastik.

## 6.2. Saran

1. Pemerintah telah menetapkan baku mutu perairan laut untuk berbagai peruntukan. Agar peraturan tentang baku mutu tersebut dapat dilaksanakan, perlu segera ditetapkan peruntukan perairan laut di wilayah Indonesia berdasarkan fungsi dan pemanfaatan perairan. Dengan ditetapkannya peruntukan dan baku mutu perairan maka tindakan hukum terhadap pencemar dapat dilakukan.
2. Perlu segera dilakukan penelitian mengenai kualitas ikan yang ditangkap di perairan Teluk Jakarta, seberapa besar terakumulasinya pollutan minyak bumi pada tubuh ikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, *Petroleum Knowledge Simplified*. Ampol Petroleum Limited. Tanpa Kota dan Tahun.
- Arif, Dharma (1980). Keadaan Suhu Permukaan Air Laut dan Suhu Udara di Perairan Teluk Jakarta. Dalam *Teluk Jakarta, Pengkajian Fisika, Kimia, Biologi, dan Geologi* (ed. A. Nontji dan A. Djamali). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 69 - 86.
- Arinardi, O.H. (1980). Perbandingan Kandungan dan Komposisi Zooplankton di Teluk Jakarta dan Sekitarnya antara Musim Barat dan Musim Timur. Dalam *Teluk Jakarta, Pengkajian Fisika, Kimia, Biologi, dan Geologi* (ed. A. Nontji dan A. Djamali). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 107 - 117.
- Bal, D.V. dan Rao, K. Virabhadra (1984). *Marine Fisheries*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Barnes, R.S.K. dan Hughes, R.N. (1988). *An Introduction to Marine Ecology*. second edition. Blackwell Scientific Publication, London.
- Bilal, J. (1987). Survey and Oil Pollution Monitoring in the ASEAN Countries. *Scientific Contribution* 2/87 : 92 - 108.
- Bilal, J. (1990). Long and Short Term Effect of Oil Pollution on the Marine Ecosystem in the ASEAN Region. *Scientific Contribution* 1/90 : 1 - 12.
- Biro Pusat Statistik. *Produksi Perikanan Laut di Jawa 1987*.
- Biro Pusat Statistik. *Statistik Indonesia 1991*.



- Birowo, Suyatno (1991). Pengantar Oseanografi. Dalam *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya* (ed. D.H. Kunarso dan Ruyitno). Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta, hal. 123 - 142.
- Bland, W.F. dan Davidson, R.L. (1967). *Petroleum Processing Handbook*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Blumer, M., Blokker, P.C., Cowell, E.B. dan Duckworth, D.F. (1978). *Petroleum. Dalam A Guide to Marine Pollution* (ed. E.D. Goldberg). Gordon and Breach Science Publishers, New York, hal. 19 - 35.
- Burns, Kathryn A. dan Knap, Anthony H. (1989). The Bahia Las Minas Oil Spill, Hydrocarbon Uptake by Reef Building Corals. *Marine Pollution Bulletin*, 20 : 391 - 397.
- Burton, Donald J. dan Routh, J.I. (1974). *Essentials of organic and Biochemistry*. W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Camougis, George (1981). *Environmental Biology for Engineers, A Guide to Environmental Assessment*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Corner, E.D.S. dan Harris, R.P. (1976). Hydrocarbon in Marine Zooplankton and Fish (Part I). Dalam *Effects of Pollutants on Aquatic Organisms* (ed. A.P.M. Lockwood). Cambridge University Press, London, hal. 71 - 85.
- Corredor, J.E., Morrel, J.M. dan Castillo, C.E.D. (1990). Persistence of Spilled Crude Oil in Tropical Intertidal Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (8) : 385 - 387.
- Davies, Natalie J. dan Wolff, George A. (1990). The Marsey Oil Spill, August 1989 : A Case of Sediments Contaminating the Oil ?. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (10) : 481 - 484.
- El Samra, M.I., Emara, H.I. dan Shunbo, F. (1986). Dissolved Petroleum Hydrocarbon in the Northwestern Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 17 (2) : 65 - 67.

- Emara, Hosny I. (1990). Oil Pollution in Southern Arabian Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (8) : 399 - 401.
- *Ensiklopedia Indonesia* (1983). Ichtiisar Baru - Van Heeve, Jakarta.
- *Ensiklopedia Nasional Indonesia* (1990). PT Cipta Adi Pustaka, Jakarta.
- Ewusie, J.Y. (1990). *Pengantar Ekologi Tropika*. Penerbit ITB, Bandung.
- Farrington, J.W., Teal, J.M. dan Parker, P.L. (1972). Petroleum Hydrocarbons. Dalam *Strategies for Marine Pollution Monitoring* (ed. E.D. Goldberg). A Wiley - Interscience Publication, John Wiley and Sons, New York, hal. 3 - 31.
- Fessenden, Ralph J. dan Fessenden, Joan S. (1986). *Kimia Organik*. Alih Bahasa A.H. Pudjaatmaka. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gatlin, Carl (1960). *Petroleum Engineering, Drilling and Well Completion*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliff N.J.
- Gray, John S. (1985). Ecological Theory and Marine Pollution Monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 16 (6) : 224 - 227.
- Griswold, John (1946). *Fuels, Combustion and Furnace*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- *Harian Umum Kompas*, 16 Februari 1990.
- *Harian Umum Surabaya Post*, 4 April 1990.
- Hellou, J., Stenson, G., I-H Ni dan Pyne, J.F. (1990). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Muscle Tissue of Marine Mammals from the Northwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (10) : 469 - 473.
- Hutabarat, Sahala dan Evans, Stewart M. (1985). *Pengantar Oseanografi*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.
- Hutagalung, Horas P. (1988). Pengaruh Suhu Air terhadap Kehidupan Organisme Laut. *Oseana XII* (4) : hal. 153 - 164.

- Hutagalung, Moras P. (1980). Pengaruh Minyak Mineral terhadap Organisme Laut. *Oseana* XV (1) : 13 - 27.
- Ilahude, A.G. dan Liasaputra, S. (1980). Sebaran Normal Parameter Hidrologi di Teluk Jakarta. Dalam *Teluk Jakarta, Pengkajian Fisika, Kimia, Biologi, dan Geologi* (ed. A. Nontji dan A. Djamali). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 1 - 47.
- Indriani, Dwi Kusuma (1992). Degradasi Cemaran Minyak Bumi Secara Mikrobiologis. *Bulletin Koloni* 3 (1) : hal. 51 - 55.
- Ingmanson, Dale E. dan Wallace, William J. (1985). *Oceanography An Introduction*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California.
- Jeffrey, Lela M. (1980). Petroleum Residues in the Marine Environment. Dalam *Marine Environmental Pollution, 1 Hydrocarbon* (ed. R.A. Geyer), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, hal 163 - 179.
- Johannes, R.E. (1975). Pollution and Degradation of Coral Reef Communities. Dalam *Tropical Marine Pollution* (ed. E.J.F. Wood & R.E. Johannes). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, hal 13 - 50.
- Kastoro dan Birowo, S. (1977). Hasil Pendahuluan Pengamatan Arus dari Beberapa Tempat di Teluk Jakarta dan Sekitarnya. Dalam *Teluk Jakarta, Sumber Daya, Sifat-Sifat Oseanologis, serta Permasalahannya* (ed. M. Hutomo et al.). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 151 - 177.
- Kastoro (1977). Hasil-Hasil Pengamatan Hidrologis di Perairan Sekitar Pulau Lancang. Dalam *Teluk Jakarta, Sumber Daya, Sifat-Sifat Oseanologis, serta Permasalahannya* (ed. M. Hutomo et al.). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 179 - 196.
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 Tentang "Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan".
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-103/MENKLH/II/1991 Tentang "Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan yang Sudah Beroperasi".

- Martosewojo, S., Djamali, A., Toro, V., dan Soedibjo, B.S. (1980). Kekayaan Jenis Ikan-Ikan dari Teluk Jakarta selama Tahun 1977 yang Tertangkap dengan Pukat Dasar. Dalam *Teluk Jakarta, Pengkajian Fisika, Kimia, Biologi, dan Geologi* (ed. A. Nontji dan A. Djamali). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 321 - 335.
- Meadows, P.S. dan Campbell, J.I. (1988). *An Introduction to Marine Science*. John Wiley and Sons, New York.
- Muchtisar D.P. (1992). Pengendalian Pencemaran Limbah dari Kilang dan Terminal Minyak. *Pertambangan dan Energi*. XVII (3) : 50 - 57.
- Neshyba, Steve (1987). *Oceanography Perspectives on a Fluid Earth*. John Wiley & Sons, New York.
- Nybakken, James W (1988). *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis*. Alih Bahasa :Muhammad Eidman et al., PT. Gramedia, Jakarta.
- Oppenheimer, Carl H. (1980). Oil Ecology. Dalam *Marine Environmental Pollution, f Hydrocarbon* (ed. R.A. Geyer). Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, hal 21 - 35.
- Page, David S., Foster Judith C., Fichett, Paulette M. dan Gilfillan Edward S. (1988). Identification of Petroleum Source in An Area Impacted by the Amoco Cadiz Oil Spill. *Marine Pollution Bulletin*, 19 (3) : 107 - 115.
- Pardjaman, D. (1977). Akresi dan Abrasi Pantai Teluk Jakarta Disebabkan oleh Kondisi Fisik dan Sosial. Dalam *Teluk Jakarta, Sumber Daya, Sifat-Sifat Oseanologis, serta Permasalahannya* (ed. M. Hutomo et al.). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 83
- Patin, S.A. (1982). *Pollution and Biological Resources of Oceans*. Butterworth Scientific, London
- Peckol, P., Leving, S.C. dan Garrity, S.D. (1980). Kelp Response Following the World Prodigy Oil Spill. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (10) : 473 - 476.

- Pine, S.H., Hendrickson, J.B., Cram, D.J. dan Hammond, G.S. (1988). *Kimia Organik*. Alih Bahasa : R. Joedodibroto dan S.W. Purbo-Hadiwijoyo. Penerbit ITB Bandung.
- Republik Indonesia. *Lembaran Negara Nomor 12 Tahun 1982, Undang-Undang Nomor 4 Tahun 1982, Tentang "Ketentuan-Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup"*
- Rheinheimer, G. (1980). *Aquatic Microbiology*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Romimohtarto, Kasijan (1981). Pengantar Pemantauan Pencemaran Laut. Dalam *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya* (ed. D.H. Kunarso dan Ruyitno): Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta, hal. 1 - 10.
- Santoso, W., Aboejuwono, Bilal, J., dan Bachtiar, I. (1977). Inventarisasi Kualitas Air Permukaan Daerah Teluk Jakarta Timur. Dalam *Teluk Jakarta, Sumber Daya, Sifat-Sifat Osea- nologis, serta Permasalahannya* (ed. M. Hutomo et al.), Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 197 - 217.
- Sastrodinoto, S. (ed.) (1982). *Biologi Umum II*, PT Gramedia, Jakarta.
- Sastrodinoto, S. (ed.) (1985). *Biologi Umum I*, PT Gramedia, Jakarta.
- Semar, Djainuddin (1986). Pengaruh Kandungan Sulfur di dalam Bahan Bakar terhadap Emisi Gas SO<sub>2</sub> di Lingkungan dan Berbagai Pengaruhnya. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 20 (3) : 40 - 49.
- Sembiring, Rahman (1984). Simulasi Pergerakan Tumpahan Minyak di Laut. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 18 (1) : 16 - 24.
- Seng, Leong Tak et al. (1987). Effect of Crude Oil Terminal on Tropical Benthic Communities in Brunei. *Marine Pollution Bulletin*, 18 (1) : 31 - 35.
- Setiapermana, D., Nontji, A., dan Soedibjo, B.S. (1980). Klorofil Fitoplankton di Teluk Jakarta. Dalam *Teluk Jakarta, Pengkajian Fisika, Kimia, Biologi, dan Geologi* (ed. A. Nontji dan A. Djamali). Lembaga Oseanologi Nasional - LIPI Jakarta, hal. 99 - 106.

- Soedibjo, Bambang S. (1991). Metode Sampling dalam Penelitian Pencemaran Laut. Dalam *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya* (ed. D.H. Kunarso dan Ruyitno). Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta, hal. 183 - 189.
- Susana, Tjutju (1988a). Karbon Dioksida. *Oseana XIII* (1) : hal. 1 - 11.
- Susana, Tjutju (1988b). Pengaruh PLTU Muara Karang terhadap Kadar Fosfat dan Nitrat di Perairan Muara Karang. Dalam *Teluk Jakarta, Biologi, Budi Daya, Oseanografi, Geologi, dan Kondisi Perairan* (ed. Kasim Moosa et al.). Puslitbang Oseanografi - LIPI Jakarta, hal. 112 - 118.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. dan Fleming, R.H. (1972). *The Ocean, Their Physics, Chemistry, and General Biology*. Tuttle Company, Tokyo.
- Tait, R.V. (1981). *Element of Marine Ecology, Third Edition*. Butterworths, London.
- Thayib, S.S. dan Darmayati (1988). Mikroflora di Sekitar PLTU Muara Karang - Teluk Jakarta. Dalam *Teluk Jakarta, Biologi, Budi Daya, Oseanografi, Geologi, dan Kondisi Perairan* (ed. Kasim Moosa et al.). Puslitbang Oseanografi - LIPI Jakarta, hal. 141 - 146.
- Thayib, Soeminarti S. (1991). Mikrobiologi Laut. Dalam *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya* (ed. D.H. Kunarso dan Ruyitno). Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta.
- Uktolseya, Henk (1991). Beberapa Aspek Fisik Laut dalam Pencemaran. Dalam *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya* (ed. D.H. Kunarso dan Ruyitno). Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta, hal. 143 - 153.
- Uren, Lester Charles (1956). *Petroleum Production Engineering, Oil Field Development*, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

- Vandermullen, J.H. dan Ahern, T.P. (1978). Effect of Petroleum Hydrocarbons on Algal Physiology : Review An Progress Report. Dalam *Effects of Pollutants on Aquatic Organisms* (ed. A.P.M. Lockwood). Cambridge University Press, London, hal. 107 - 123.
- Whittle, K.J. dan Mackie, P.R. (1976). Hydrocarbon in Marine Zooplankton and Fish (Part II). Dalam *Effects of Pollutants on Aquatic Organisms* (ed. A.P.M. Lockwood). Cambridge University Press, London, hal. 85 - 100
- Wibisono, M.S. (1987). Tingkat Toksisitas Minyak Bumi Naphtenik Intermediate terhadap Beberapa Jenis Biota Akuatik Pantai. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 21 (3) : 218 - 229.
- Wibisono, M.S. (1989). Tingkat Toksisitas Minyak Bumi Parafinik dan Intermediat terhadap Fingerling Bandeng. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 23 (2) : 162 - 172.
- William, Jerome (1979). *Introduction to Marine Pollution Control*. John Wiley & Sons, New York.
- Wisaksono, Wahjudi (1987a). Kegiatan Industri Minyak Bumi di Lepas Pantai dalam Hubungannya dengan Soal-soal Biologi. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 21 (1) : 70 - 84.
- Wisaksono, Wahjudi (1987b). Analisis Hidrokarbon Sebagai Alat dalam Penelitian Ekologi. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 21 (2) : 135 - 147.
- Wisaksono, Wahjudi (1987c). Oil Pollution Abatement. *Scientific Contribution* 1/87 : 39 -49.
- Wisaksono, W., Said, U. dan Bilal, J. (1987). Energi dan Pengembangan Lingkungan. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 21 (3) : 241 - 249.
- Zen, M.T. (ed.)(1985). *Menuju Kelestarian Lingkungan Hidup*. Gramedia Jakarta.

## LAMPIRAN 1

DAFTAR KATA

Akuatik	: Lingkungan hidup di perairan
Ballast	: Air pemberat kapal tanker tak bermuatan
Bentik	: Bagian lingkungan perairan yang dihuni organisme yang hidup di dalam sedimen di dasar perairan
Biota	: Keseluruhan flora dan fauna yang terdapat di dalam suatu daerah
Carnivora	: Hewan pemakan hewan lain (daging)
Ekosistem	: Keanekaragaman suatu komunitas dan lingkungannya yang berfungsi sebagai suatu satuan ekologi di alam
Eksplorasi	: Penyelidikan dan penjajakan daerah yang diperkirakan mengandung mineral berharga dengan jalan survey geologi, geofisik, atau pengeboran dengan tujuan menemukan deposit
Estuari	: Perairan pantai setengah tertutup tempat air laut bertemu dengan air tawar
Fitoplankton	: Tumbuhan kecil yang hidup melayang di perairan
Fotosintesis	: Proses biokimia antara karbon dioksida dengan air yang dilakukan oleh tumbuhan dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi untuk membentuk karbohidrat
Fraksi	: Bagian kecil (pecahan) dari suatu bahan
Habitat	: Tempat di mana suatu organisme hidup
Herbivora	: Hewan pemakan tumbuh-tumbuhan



## LAMPIRAN 1 (lanjutan)

Hidrokarbon	: Senyawa kimia yang mengandung unsur-unsur hidrogen dan karbon
Individu	: Organisme yang bersifat bebas secara fisiologis (tidak mempunyai hubungan organik dengan sesamanya)
Intertidal	: Daerah antara pasang tertinggi dan surut terendah di pantai
Karsinogenik	: Bahan yang bersifat menyebabkan penyakit kanker
Kompetisi	: Persaingan atau perjuangan hidup di tengah-tengah komunitas
Komunitas	: Kelompok organisme yang hidup dan saling berinteraksi dalam suatu daerah tertentu
Konsumen	: Organisme dalam suatu ekosistem yang memanfaatkan organisme lain sebagai makanannya
Mikroorganisme	: Organisme yang berukuran sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan alat pembesar
Nekton	: Hewan yang mampu berenang di perairan, sehingga tidak tergantung pada arus air
Omnivora	: Hewan pemakan hewan dan tumbuhan
Organisme	: Segala jenis makhluk hidup (hewan, tumbuhan dan lain-lain)
Oseanografi	: Ilmu tentang segala aspek yang berhubungan dengan laut
Pelagik	: Bagian lingkungan perairan yang dihuni organisme yang hidup di kolom air
Plankton	: Organisme kecil yang hidup melayang di perairan dan pergerakannya dipengaruhi oleh arus air
Pollutan	: Bahan yang mengakibatkan gangguan kelangkaan hidup suatu organisme

## LAMPIRAN 1 (lanjutan)

Populasi	: Sekelompok organisme yang hidup di dalam suatu daerah
Predasi	: Pemangsaan suatu organisme terhadap organisme lain
Produsen	: Organisme dalam suatu ekosistem yang menghasilkan makanan bagi organisme lain
Pycnocline	: Lapisan air di antara air yang mempunyai densitas besar dan kecil
Rantai Makanan	: Rangkaian perolehan makanan pada organisme yang terjadi secara berantai
Run-off	: Aliran air hujan di permukaan tanah atau melalui sungai
Salinitas	: Kadar garam dalam air
Sinking	: Gerakan air laut dari permukaan air turun ke dasar laut
Spesies	: Unit klasifikasi makhluk hidup di bawah genus (marga)
Tanker	: Kapal yang digunakan untuk mengangkut minyak bumi dan produk-produknya
Termoklin	: Lapisan air yang tipis di antara air yang hangat dan air yang dingin
Toksik	: Zat yang bersifat racun
Toksisitas	: Tingkat bahaya suatu zat beracun
Upwelling	: Gerakan air laut dari dasar laut menuju permukaan air laut
Zooplankton	: Hewan kecil yang hidup melayang di perairan

## LAMPIRAN 2

BATASAN KONSENTRASI MINYAK TERHADAP ORGANISME LAUT  
(Patin, 1982)

Group and species of organisms	Toxic concentrations (mg/l)		Threshold concentrations (mg/l)	Source
	Limit	LC <sub>50</sub>		
<b>Heterotrophic microplankton</b>				
<i>Euploes vannus</i>	≥ 100 <sup>b</sup>	—	—	Mironov (1972)
Bacteria	~ 1000	—	—	Walker <i>et al.</i> (1974)
	≥ 0.3	—	—	CEPEX (1975)
Bacteria and fungi	—	—	10	Walsh and Mitchell (1973)
<b>Unicellular algae</b>				
<i>Dictylum brightwellii</i>	5-50 <sup>b,d</sup> (t = 7-10 days) 0.1-100 <sup>b,e</sup>	—	0.05-0.5 <sup>b,d</sup>	Present work
	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	100-1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Coscinodiscus granii</i>	5-100 <sup>b,d</sup> (t = 1-7 days)	—	0.05-5 <sup>b,d</sup>	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Ankistrodesmus convolutus</i>	5-100 <sup>b,d</sup> (t = 10-30 days)	—	0.05-0.5 <sup>b,d</sup> (t = 50 days)	Present work
<i>Nephrochloris salina</i>	0.5-50 <sup>b,d</sup> (t = 7-40 days)	—	0.5-5 <sup>b,d</sup> (t = 20-40 days)	Present work
<i>Gyrodinium fissum</i>	5 <sup>b,d</sup> (t = 5 days)	—	5 <sup>b,d</sup> (t = 15 days)	Present work
Natural communities	0.5-500 <sup>b,d</sup> (t = 1-7 days)	—	0.5-5 <sup>b,d</sup> (t = 1-7 days)	Present work
<i>Glenodinium foliaceum</i>	100-1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	10-100 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	100-1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	1-100 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Gymnodinium wulffii</i>	100-1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	0.1-10 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Gymnodinium kovalenskii</i>	1-1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	0.1-1 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Prorocentrum trochoideum</i>	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	0.01-100 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Licmophora ehenbergii</i>	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	1-100 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Peridinium trochoideum</i>	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Platymonas viridis</i>	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	1-10 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Melosira moniliformis</i>	1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	—	100-1000 <sup>b,e</sup> (t = 5 days)	Mironov and Lanskaya (1969)
<i>Phaeodactylum tricor-nutum</i>	—	—	10 <sup>b,d</sup>	Lacaze (1969)
Diatom and peridinium algae (6 species) of the Caspian Sea	1-1000 <sup>b</sup>	—	0.1-1 <sup>b</sup>	Babaev and Abdullaeva (1975)
<b>Macrophytes</b>				
<i>Polysiphonia elongata</i>	1000 <sup>e</sup> (t = 3 days)	—	100-1000 <sup>e</sup>	Mironov (1972)
<i>Polysiphonia brevarticulata</i> (spores and growths)	100-1000 <sup>b,e</sup> (t = 1-5 days)	—	—	Mironov (1972)
<i>Polysiphonia opaca</i>	100-10000 <sup>e</sup>	—	—	Divavin and Tsybnal (1975)



## LAMPIRAN 2 (lanjutan)

Group and species of organisms	Toxic concentrations (mg/l)		Threshold concentrations (mg/l)	Source
	Limus	LC <sub>50</sub>		
<i>Macrocyclus pyrifera</i>	—	—	<1000 <sup>f</sup>	North <i>et al.</i> (1965)
<i>Ulva lactuca</i>	100–10000 <sup>f</sup>	—	—	Divavin and Tsymbal (1975)
<i>Grateloupia dichotoma</i>	100–10000 <sup>f</sup>	—	—	Divavin and Tsymbal (1975)
<i>Ceramium rubrum</i>	100–10000 <sup>f</sup>	—	—	Divavin and Tsymbal (1975)
<i>Ceramium ciliatum</i>	100–10000 <sup>f</sup>	—	—	Divavin and Tsymbal (1975)
<i>Fucus vesiculosus</i>	1000 <sup>f</sup>	—	100–1000 <sup>f</sup> ( <i>t</i> = 14 days)	Ganning and Billing (1972)
<b>Crustaceans</b>				
<i>Acartia tonsa</i> (nauplii)	0.1–0.4 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 7 days)	0.25 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 7 days)	—	Present work
<i>Acartia clausi</i>	—	1.0 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 69 h)	—	Mironov (1969)
<i>Calanipeda aquaedulcis</i>	—	0.5 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 15 days)	—	Patin <i>et al.</i> (1978)
<i>Eurytemora affinis</i> (nauplii)	0.8–1.5 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 7 days)	1.0 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 7 days)	—	Present work
<i>Paracalanus parvus</i>	—	1.0 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 64 h)	—	Mironov (1969)
<i>Penilia avestria</i>	—	1.0 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 80 h)	—	Mironov (1969)
<i>Centropages ponticus</i>	—	1.0 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 83 h)	—	Mironov (1969)
<i>Oithona nana</i>	1.0 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 57 h)	—	—	Mironov (1969)
<i>Palaemon adspersus</i>	1000–10000 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 5–20 days)	—	200–1000 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 45 days)	Pyatakova (1975)
<i>Calanus finmarchicus</i>	3–30 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 3–4 days)	—	0.2–3 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 10 days)	Bogdanov <i>et al.</i> (1975)
<i>Leander adspersus</i>	14–70 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 10 days)	—	0.5–1 <sup>b,d</sup> ( <i>t</i> = 30 days)	Zambakhidze (1975)
<i>Carpinodon variegatus</i>	—	3900–80000 <sup>b,e</sup> 3–20 <sup>b,d</sup>	—	Anderson <i>et al.</i> (1974)
<i>Palaemonetes pugio</i>	—	200–6000 <sup>b,e</sup> 2.6–19.8 <sup>b,d</sup>	—	Anderson <i>et al.</i> (1974)
<i>Penaeus aztecus</i> (larvae)	—	1000 <sup>b,e</sup> 1.9–19.8 <sup>b,d</sup>	—	Anderson <i>et al.</i> (1974)
<i>Idothea baltica</i>	10–1000 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 1–30 days)	—	—	Mironov (1975)
<i>Tigriopus californicus</i>	~80 <sup>b</sup>	—	—	Barnette and Kontogiannis (1975)
<i>Homarus americanus</i> (larvae)	—	0.86–4.9 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 96 h)	0.14 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 30 days)	Wells and Sprague (1976)
	1–100 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 1–10 days)	2–30 <sup>b</sup> ( <i>t</i> = 96 h)	1–10 <sup>b</sup> ( <i>t</i> = 30 days)	Wells (1972)
<i>Diogenes pugilator</i>	~10 <sup>b,e</sup>	—	—	Mironov (1972)
<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	100–1000 <sup>b,e</sup> ( <i>t</i> = 15 days)	—	—	Mironov (1972)
<i>Pachygrapsus marmoratus</i> (larvae)	10–110 <sup>b,e</sup>	—	—	Mironov (1972)
<i>Pontogammarus crassus</i>	1100–10000 <sup>b,d</sup>	—	200–1000 <sup>b,d</sup>	Pyatakova (1975)

## LAMPİRAN 2 (lanjutan)

Group and species of organisms	Toxic concentrations (mg/l)		Threshold concentrations (mg/l)	Source
	Limits	LC <sub>50</sub>		
<i>Rhinopomopus harrisi</i>	1000-10000 <sup>a,d</sup>	—	200-1000 <sup>b,d</sup>	Pyatakova (1975)
<i>Balanus sp.</i>	10-100 <sup>b,c</sup>	—	3-7 <sup>b,c</sup>	Mironov (1972) Gasimov and Bagirov (1975)
<i>Balanus improvisus</i>	10-40 <sup>b,d</sup>	—	—	—
<i>Balanus cariosus</i>	500 <sup>b,c</sup>	—	—	Chib (1973)
<i>Nephargoides macrochus</i>	( <i>nauplii</i> ) ( <i>larvae</i> ) ( <i>adults</i> )	( <i>t</i> = 12 h) ( <i>t</i> = 2-4 days) ( <i>t</i> = 8-15 days)	—	—
<i>Anomoeleceria paueri</i>	10 <sup>a</sup>	—	—	—
<i>Diogenes pugilator</i>	10 <sup>a</sup>	—	—	—
<i>Gammarus olivii</i>	10 <sup>a</sup>	—	—	—
<i>Idothea bolica</i>	10 <sup>a</sup>	—	—	—
<i>Gammarus olivii</i>	10 <sup>a</sup>	—	—	—
<i>Gammarus equicauda</i>	1-100 <sup>b,c</sup>	—	—	—
<i>Nitocra affinis</i>	30 <sup>a</sup>	—	—	—
<i>Salmo trutta caspius</i>	0.01-1 <sup>a,d</sup>	—	—	—
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	>0.1 <sup>b,d</sup>	—	—	—
<i>Rhombus maeoticus</i>	0.1-1.0 <sup>b</sup>	—	—	—
<i>Crenilabrus linea</i>	250 <sup>b</sup> ( <i>t</i> = 2-3 days)	—	—	—
<i>Sargus annularis</i>	250 <sup>b</sup> ( <i>t</i> = several days)	—	—	—
<i>Mugil saliens</i>	250 <sup>b</sup> ( <i>t</i> = several months)	—	—	—
<i>Clupea harengus L.</i>	1000-20000 <sup>b,c</sup>	—	—	—
<i>Godus morhua</i>	0.1-10 <sup>b,d</sup>	—	—	—
<i>Pleuronectes pharasa</i>	0.1-10 <sup>b,d</sup>	—	—	—
<i>Spicara smaris</i>	9-30 <sup>b,d</sup>	—	0.05-10 <sup>b,d</sup>	Kovalova (1975)

## LAMPIRAN 2 (lanjutan)

Group and species of organisms	Toxic concentrations (mg/l)		Threshold concentrations (mg/l)	Source
	Limits	LC <sub>50</sub>		
<i>Odonogadus merlangus euxinus</i> (Nordmann)	9-30 <sup>a,d</sup>	—	1-10 <sup>a,d</sup>	Kovaleva (1975)
<i>Solea laskaris nasuta</i>	9-30 <sup>a,d</sup>	—	0.05-10 <sup>a,d</sup>	Kovaleva (1975)
<i>Huso huso caspicus natio kurensis</i> (larvae 7 day)	5000-50000 <sup>b,d</sup> (t = 7 days)	—	≤50 <sup>b,d</sup> (t = 8 days)	Velikhanov (1975)
<i>Acipenser güldenstädtii persicus natio kurensis</i> (Belyaev) (larvae 6 day)	12000-75000 <sup>b,d</sup> (t = several days)	—	—	Velikhanov (1975)
<i>Spicara smaragdus</i> (developing eggs and prelarvae)	1.7-5 <sup>b,d</sup>	—	0.05-0.4 <sup>b,d</sup>	Bazhashvili (1975)
<i>Platichthys flesus lusitanicus</i> (developing eggs and prelarvae)	1.7-5 <sup>b,d</sup>	—	0.05-0.4 <sup>b,d</sup>	Bazhashvili (1975)
<i>Platichthys stellatus</i>	—	—	0.1-0.2 <sup>a,d</sup> (t = 5-21 days)	Whipple et al. (1978)
<i>Gobius melanostomus</i> (fry after hatching)	10-100 <sup>b,c</sup> (t = 1-3 days)	—	—	Vinogradov (1972)
<i>Gobius fluviatilis</i> (fry after hatching)	10-100 <sup>b,c</sup> (t = 1-3 days)	—	—	Vinogradov (1972)
<i>Syngnathus typhle argenteus</i> (larvae after hatching)	10-100 <sup>b,c</sup> (t = 1-3 days)	—	—	Vinogradov (1972)
<i>Syngnathus nigrofasciatus</i> (juveniles after hatching)	10-100 <sup>b,c</sup> (t = 2-3 days)	—	—	Vinogradov (1972)
<i>Pomatoschistus minutus elongatus</i> (prelarvae after hatching)	~10 <sup>b,c</sup> (t = 4-10 h)	—	—	Vinogradov (1972)
<i>Mugil saliens</i> (juveniles, 20-30 mm)	1000 <sup>b,c</sup> (t = 1 day)	—	—	Vinogradov (1972)
<i>Atherina mitchellii</i> (juveniles 20-30 mm)	1000 <sup>b,c</sup> (t = 1 day)	—	—	Vinogradov (1972)
Acipenseridae, Cyprinidae (early developmental stages)	—	—	0.05-0.5 <sup>b,d</sup> (t = 60 days)	Kasimov and Rustamova (1975)
<i>Clupea pallasii</i> (developing eggs)	—	10-12 <sup>b,d</sup> (t = 24 h)	—	Struhsaker and Eldridge (1974)
<i>Clupea pallasii</i> (larvae 7 days after hatching)	—	5-7 <sup>b,d</sup> (t = 24 h)	—	Struhsaker and Eldridge (1974)
<i>Engraulis mordax</i> (larvae 3 days after hatching)	—	5-7 <sup>b,d</sup> (t = 24 h)	—	Struhsaker and Eldridge (1974)
<i>Platichthys flesus lusitanicus</i> (eggs and prelarvae)	0.05-2.5 <sup>b,d</sup> (t = 10 days)	—	—	Mazmanidi and Bazhashvili (1975)
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (juveniles)	—	40 <sup>b,d</sup> (t = 96 h)	—	Rice et al. (1975)
Molluscs	—	—	—	—
<i>Cerastoderma edule</i>	—	0.1 <sup>b,d</sup> (t = 60 days)	—	Patin et al. (1978)
<i>Didacna trigonoides</i>	—	0.1-0.2 (t = 60 days)	—	Patin et al. (1978)

## LAMPIRAN 2 (lanjutan)

Group and species of organisms	Toxic concentrations (mg/l)		Threshold concentrations (mg/l)	Source
	Limits	LC <sub>50</sub>		
<i>Monodactyla caspia</i>	—	0.1-0.2 (t = 60 days)	—	Patin <i>et al.</i> (1973)
<i>Rissoa euxinica</i>	1000 <sup>b</sup>	—	—	Mironov (1967)
<i>Bitium reticulatum</i>	1000 <sup>b</sup> (t = 10-15 days)	—	—	Mironov (1967)
<i>Gibbula divaricata</i>	1000 <sup>b</sup> (t = 10-15 days)	—	—	Mironov (1967)
<i>Brachiodontes varabilis</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup> <sup>b,c</sup> (t = 15-70 days)	1000 <sup>b,c</sup> (t = 70 days)	1000-10000 <sup>c</sup> (t = 20 days)	Avolizi and Nuwayhid (1974)
<i>Donax trunculus</i>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup> <sup>b,c</sup> (t = 12-72 h)	1000 <sup>b,c</sup> (t = 72 h)	<1000- ~25000 <sup>c</sup> (t = 7 days)	Avolizi and Nuwayhid (1974)
<i>Littorina fluorea</i>	~100000 <sup>b,f</sup> (t = 2-12 h)	—	—	Griffith (1972)
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	1000-10000 <sup>b,c</sup> (t = 25-40 days) >10000 <sup>b,c</sup>	—	—	Mironov (1972)
	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup> <sup>b</sup>	—	0.5-9 <sup>b,d</sup>	Divavin and Tsymlal (1975)
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (larvae)	—	—	1-1000	Diasamidze (1975)
<i>Mytilus edulis</i>	—	—	1-1000	Renzoni (1973)
	~100000 <sup>b,f</sup> (t = 60-120 h)	—	—	Griffith (1972)
<i>Acmaea scutum</i> (larvae)	≤5000 <sup>b,f</sup> (t = 15-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Haminoea virescens</i> (larvae)	5000 <sup>b,f</sup> (t = 15-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Melibe leonina</i> (larvae)	5000 <sup>b,f</sup> (t = 15-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Katharina tunicata</i> (larvae)	5000 <sup>b,f</sup> (t = 15-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Crassostrea gigas</i> (larvae)	5000 <sup>b,f</sup> (t = 15-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Crassostrea angulata</i> (larvae)	—	—	1-1000	Renzoni (1973)
Annelids	—	—	—	—
<i>Ophryotrocha labronica</i> (larvae)	—	—	0.1 <sup>b,d</sup> (t = 15 days)	Present work
<i>Ophryotrocha labronica</i> (adults)	—	—	0.12 <sup>b,d</sup> (t = 20 days)	Present work
<i>Nereis diversicolor</i>	0.1-1 <sup>b</sup> (t = 8-26 days)	—	—	Kasimov and Granovskii (1970)
<i>Nereis virens</i>	≤5000 <sup>b</sup> (t = 3-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Nereis brandti</i>	5000 <sup>b,f</sup> (t = 3-48 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Serpula vermicularis</i>	5000 <sup>b,f</sup> (t = 3-48 h)	—	—	Chia (1973)
Echinoderms	—	—	—	—
<i>Echinodermata</i>	—	—	0.1-1.0 <sup>b,d</sup>	North <i>et al.</i> (1965)
<i>Pisaster ochraceus</i> (larvae)	≤5000 <sup>b,f</sup> (t = 12 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Luidia foliata</i> (larvae)	≤5000 <sup>b,f</sup> (t = 15 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Crassaster papposus</i> (larvae)	≤5000 <sup>b,f</sup> (t = 300 h)	—	—	Chia (1973)
<i>Dendraster exocetis</i> (larvae)	≤5000 <sup>b,f</sup> (t = 21 h)	—	—	Chia (1973)
Echinoderms	—	—	—	—
<i>Chironomus albidus</i> (larvae)	0.5-7 <sup>b,d</sup> (t = 6-28 days)	—	—	Aliev (1975)

Note. Symbols as follows:

b) Evaluation given for biological indicators of toxicity (changes in survival, abundance, fecundity, growth rates, etc.);

p) Evaluation given for physiological/biochemical indicators of toxicity (changes in respiration, photosynthesis,

hemopoiesis, enzyme activity, etc.);

d,e,f) Correspond to activity of dissolved, emulsified, and film of oil.